ISN - 3 1 4 4 7

Exploring Energy — 2

Bioenergy

Canada

88-044777

Cover:

One hundred years ago most Canadian homes were warmed by bioenergy — by sunshine stored in trees and released in wood-burning stoves.

Prepared for Energy, Mines and Resources Canada and
the National Research Council Canada
by Sean McCutcheon & Associates
Edited by Ken Lewis
Designed by Quorum Graphics

Copyright© 1984 by Minister of Supply and Services
Cat. No. NR35-2/2-1984E
ISBN 0-662-13015-4

Exploring Energy — 2

Bioenergy

by Sean McCutcheon
Illustrated by John Bianchi

Government of Canada Gouvernement du Canada

Foreword

Canadians use a lot of energy. We have enjoyed plentiful supplies of cheap and convenient energy, principally in the form of oil, since the early 1900's. Our thirst for oil has exceeded our conventional oil supplies and we now import oil from other countries. Recent world events have made us realize the strategic and financial dangers of being dependent, as a nation, on others for such a vital commodity as energy. Moreover, the increasing world consumption of oil has emphasized the finite nature of these reserves. At current consumption rates, our grandchildren will live to see the last drop pumped out of conventional oil wells. Clearly, we must curb our appetite for energy, and we must learn to consume a wider variety of energy forms, even though they will be less convenient and more expensive than those we have become accustomed to.

In searching for alternatives to continuing dependence on finite energy resources such as fossil fuels, the desirability of renewable energy sources is obvious. Hydraulic energy already contributes significantly to our electricity supplies; further exploration of this inexhaustible resource must be undertaken. Solar energy, wind energy, biomass energy from trees and agricultural wastes, and geothermal energy from within the earth itself are other inexhaustible energy resources that must be explored. The purpose of this series of booklets is to report on explorations of such alternatives.

This booklet examines the major issues involved in the use of energy from vegetation or biomass. Bioenergy is solar radiation that has been converted into vegetable matter by photosynthesis. The report describes Canada's bioenergy sources, from forests and crops to garbage. It considers how these resources can be harvested, and what rules must be observed to ensure they remain truly renewable resources. Various ways in which bioenergy can be converted to more convenient forms are explained, including the possibilities for producing liquid fuel substitutes to power cars, trucks and tractors from wood wastes or grain. Much of the technology described is still being developed, and will in future years augment the significant fraction of Canada's energy supply already provided from bioenergy.

Energy Research and Development Program
National Research Council

Coal and Alternative Energy Branch
Energy, Mines and Resources Canada

Contents

Foreword	2
Introducing Bioenergy	4
The Resource	5
Plants as Energy Collectors	5
Vegetation	7
Wastes	8
Forest Wastes	8
Farm Wastes	9
Garbage	9
Energy Plantations	10
The Technology	11
How Biomass Is Converted and Its Energy Extracted	11
Combustion	12
Electricity	12
Gasification	13
Liquid Fuels	14
Biogas	15
The Environment	17
Summary	19
Federal Government Bioenergy Programs	20
Sources of Information	21

Introducing Bioenergy

BIOENERGY is what we call solar energy which has been captured by growing plants, and stored in forms of matter that we can use as food or fuel. For example, trees produce wood that we burn; wheat produces grain that we eat. In fact, as you read these words, you are being powered by bioenergy.

By burning wood, or by fermenting plants to make liquid fuel, or by turning manure into gas, we can tap the renewable store of bioenergy found in living things to power cars and trucks, papermills and sawmills, homes and hog barns.

Most of the energy we now use comes from the remains of dead plants which flourished hundreds of millions of years ago. When they died, they were buried and changed in the earth into what we know as fossils fuels: oil, coal and natural gas.

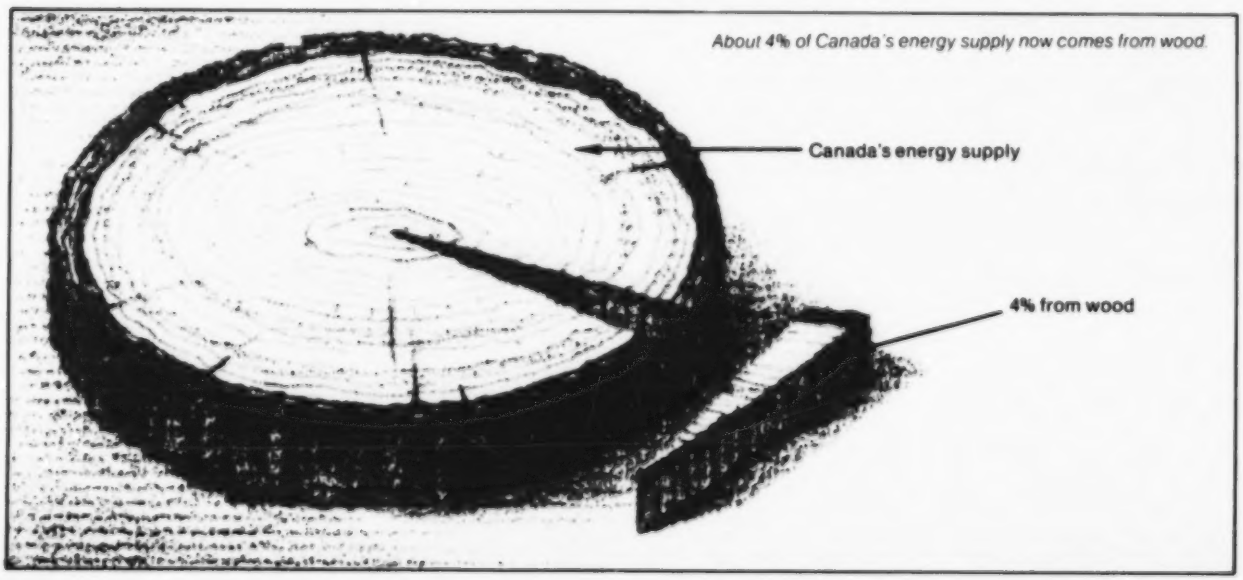
Oil, because it is such a compact fuel, has become the dominant source of the world's energy. Its rise to the number-one position, however, is recent; only a hundred years ago, almost all the energy used in Canada came from wood. It remains more convenient to use oil than wood; but wood and other sources of bioenergy have one great advantage: they are renewable, whereas the stores of all fossil fuels in the earth are finite.

The rate at which oil is being pumped out of the earth's wells has reached its peak. From now on, oil will become increasingly scarce and expensive.

The most sensible response to this fact is to cut back on our energy use; for here in Canada we consume more energy per person than anywhere else in the world. This is partly so because we have a population which is thinly scattered across a cold, northern land—to keep a country like Canada running takes a lot of energy. But it is also true that the richness of our energy resources has encouraged us to develop extravagant habits.

Renewable sources of energy can also help, as we make the difficult transition away from the oil era. Already, bioenergy contributes four per cent of the energy used in Canada. A little of this is accounted for by the hundreds of thousands of homes heated by wood; but the largest bioenergy use is the burning of waste wood at pulp and paper mills.

Where is bioenergy found in Canada? How much do we have? How can we use it? What research is now going on? You will find on the following pages an outline of the answers to such questions. You will read about strawburners, energy plantations, fuel-producing bugs and many other ways of exploiting bioenergy; and you will tour the forests, farms, peat bogs, garbage dumps and laboratories where bioenergy is now being explored.



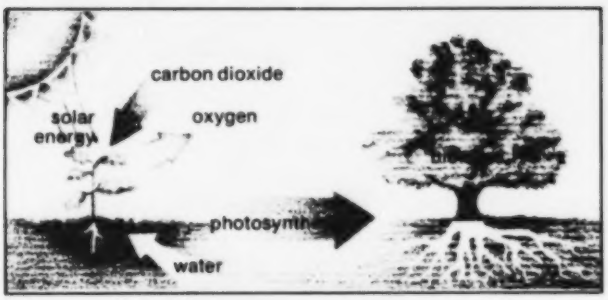
About 4% of Canada's energy supply now comes from wood.

The Resource

Plants as Energy Collectors

It is spring. At night the snow hardens, but during the day it melts, and the frozen ground thaws in the sunshine. On the branches of the maples the buds are filling out, and up through the trunks the sap runs.

A remarkable transformation takes place in the green leaves of maple trees and all other plants. In a process



powered by radiation from the sun, molecules collected from the air and the ground split apart and new, more energy-rich molecules are assembled. As they grow, plants use the direct energy of sunshine to rearrange chemicals into the products that serve us as food and fuel. For instance, maple syrup provides energy to our bodies, and maple logs provide us with heat. Both are products of a growing plant; and the energy they supply comes ultimately from the sun.

The sun's rays power many *flows* of energy on the earth, including winds, waves and rivers; but only plants provide natural *stores* of renewable energy. Plants use sunshine to put on weight, and this accumulation of matter we call biomass.

Biomass is made of complex molecules which are built for the most part from atoms of carbon, hydrogen and oxygen. The carbon and oxygen come from the carbon dioxide gas which leaves breathe in; the hydrogen from water drawn up by the roots. The resulting molecules of biomass are the familiar carbohydrates: in the form of sugar and starch, they fuel our bodies; and in the form of cellulose, they make up the paper on which these words are printed. The heat you would feel, if you were to burn these pages, would convince you that biomass contains a store of energy.

The first step in the process of assembling syrup, wood, or other biomass, using the direct energy of sunshine, is called photosynthesis. In photosynthesis, the energy of sunshine is converted into forces that hold the molecules of biomass together; and the energy remains stored in these forces until the molecules are broken apart. However, photosynthesis is not a very efficient process. Here

in Canada, a good deal less than one per cent of all the solar energy falling during the course of a year is converted into the stored bioenergy of plant matter.

To get a concrete idea of how much bioenergy is being collected here, consider the rate at which a tree may accumulate weight: a kilogram or so per year. This means that a forest, in a century of storing solar energy, accumulates the energy equivalent to a layer of oil which —if spread over the entire area covered by the forest— would be only a few centimetres thick.

Yet the factor represented by the forest's area should not be underestimated. It can be enormous. The Canadian forest stretches from Pacific to Atlantic, an almost continuous carpet of growing plants covering the northern half of a continent, and acting as a vast solar collector. It has been estimated that the energy captured by our forests exceeds by at least two and a half times all the energy we use in a year.

The thin film of living matter which envelops the globe we live on, and which is kept alive by the continuous inflow of energy from the sun, is called the biosphere. In the biosphere, energy and materials are recycled. For solar energy is only temporarily accumulated in biomass: after a plant dies its bioenergy is released—its complex molecules are broken down by decay, and their constituents made available for subsequent generations. Some biomass is buried and compressed in the crust of the earth, and there, at an insensibly slow pace, transformed into its most enduring form—fossil fuel. So precipitous is the rate at which we have been using this store of trapped energy that, within a few decades, we will virtually exhaust what took hundreds of millions of years to produce.

We cannot hope to continue to draw power from fossilized biomass. We can, however, divert a portion of the unceasing flow of solar energy through the biosphere by simply harvesting plants.

Vegetation

Viewed from high above, that part of the biosphere known as Canada is a vast surface predominantly colored green and blue. If we were to look closely at its landscapes, we would see that only about seven per cent of the land is cleared and cultivated. In fertile belts along the southern fringe are found almost all our farms and cities.

Easily spotted in the heart of Canada are the Prairies. Once covered by tall grasses, the Prairies now grow wheat, oats, barley and other grains to feed the world.

But what would most dramatically strike the eye from above is Canada's dominant plant community—the forest. In the south and intermixed with evergreens are the hardwoods, such as maple, beech and poplar, the trees which emblazon the land in vivid colors during the fall. Running down the west coast, and thriving in an environment of abundant rain, is a coniferous forest. It includes some of the largest trees in the world—Douglas fir, Sitka spruce, and red cedar. To the north is the Boreal forest of black spruce, balsam fir, pine, and hemlock, part of a great belt of evergreens which sweeps round the North Pole, encircling the globe.

These forests are matched in size by few others in the world. They cover more than a third of Canada's ten million square kilometres.

North of the forests the tundra begins. Here grow mosses, lichens, and stunted trees, plants adapted to the cold and to the short summers of the barren lands.

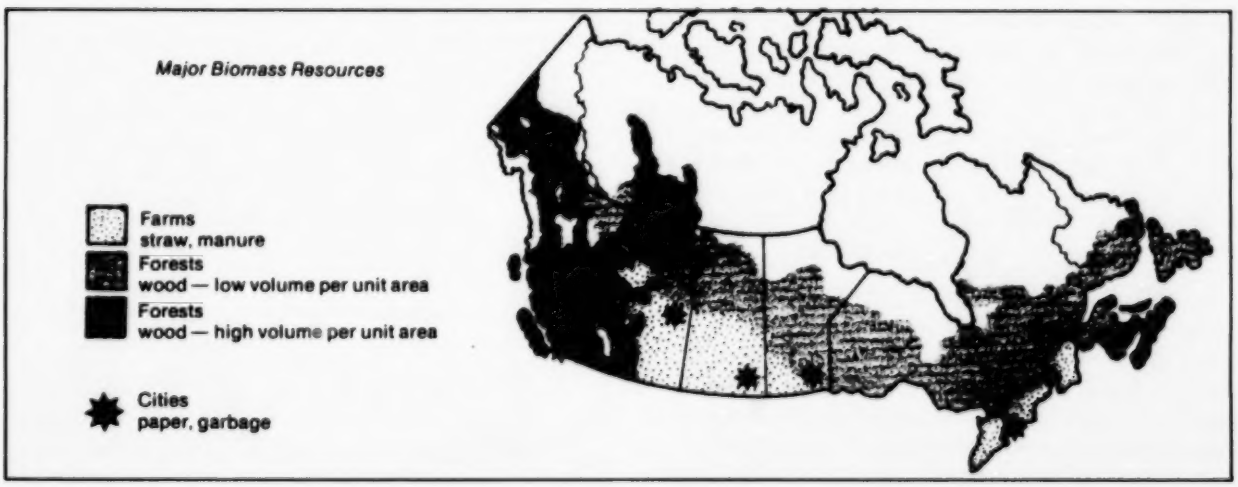
Biomass flourishes in water as well as on land. In the oceans seaweeds thrive, as do other plants in rivers and lakes.

There is still another kind of biomass found in abundance in Canada. Peat is not a renewable resource, but is often listed in biomass inventories because its origins are in vegetable matter. Plants which grew in the soggy ground plowed over by glaciers during the last Ice Age did not rot entirely when they died. Covered by water, they slowly decomposed into damp, spongelike peat. This material, if left longer, would eventually be buried and transformed into coal.

As much as a quarter of Canada is covered by peat bogs from which fuel could be mined, as it is elsewhere: the world's first peat-fired, electrical generating station began operation in Russia in 1914; and today, almost half of Ireland's electricity comes from burning peat.

Here in Canada, peat has been overlooked. We do not know in any detail how much we have, though we do know we have more than virtually any other nation.

And if we ignore peat, and just add up what we know about the mass of vegetation now growing in Canada, we can calculate that our share of this renewable resource, per head, is the largest in the world.



Wastes

The plants of Canada form a enormous pool of stored bioenergy. Yet there are many practical considerations limiting where and in what quantities we can draw from this pool. Clearly, it does not make sense to heat a home with wood that grew a thousand miles away. In general, biomass has to be harvested and transported to where it can be used efficiently. Then its energy can be extracted directly by burning, and the resulting heat perhaps further transformed to electricity; or, alternatively, the original biomass might first be converted into more compact forms of fuel, such as liquid fuels or gas.

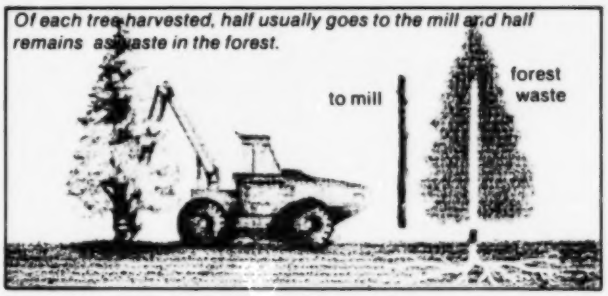
It is to be realized also that the energy per portion of biomass is relatively low. A one kilogram log of freshly cut wood has only a quarter of the energy of a lump of coal of the same weight. Instead of using biomass as a fuel, it will often make more sense to use it as a building material, or for its food value.

Such considerations narrow down the real size of the bioenergy pool. In Canada, the most accessible biomass, and therefore our largest bioenergy resource, is found in the waste heaps at pulp and paper mills, at sawmills, and on farms; as well as in the garbage dumps of cities. In all these places, large quantities of biomass are accumulated —sawdust, bark, manure, paper, and so on—and in these places too, large quantities of energy are needed.

Forest Wastes

The newspapers read in more than 40 countries around the world are printed on paper manufactured from trees which grew in Canada. In making newsprint, timber, plywood, and a host of other products, the forest industries are heavy energy-users. In a recent year, the pulp and paper companies accounted for almost 30 per cent of all industrial energy consumed in Canada. The forest industry as a whole purchases more oil, natural gas, and electricity than any other single industry in the country.

No longer are trees felled with axes and bucksaws, hauled by teams of horses, and then dumped on a frozen river to be driven downstream in the spring flood. Nowadays the woods roar to the sound of chain saws and powerful harvesting machines that shear off a tree at ground level, strip it of its branches and top, and drag it to the roadside. There it may be fed into the flailing blades



Of each tree harvested, half usually goes to the mill and half remains as waste in the forest.

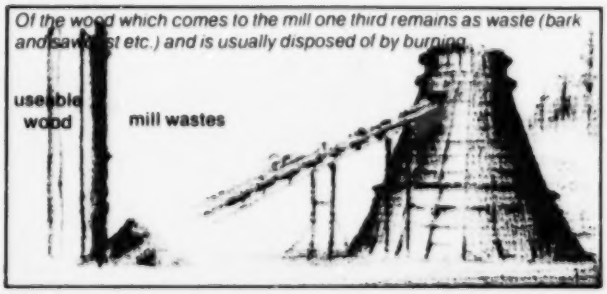
of a chipper. Such mechanized harvesting consumes energy; but the even heavier consumption is at the mill.

In the manufacture of newsprint, giant machines strip, chip, grind, pulp and shred logs. The end product is then heated with chemicals in a kind of pressure cooker, and finally poured out on paper machines as long as football fields. These machines roll out a continuous ribbon of paper at speeds up to 60 kilometres per hour.

Some of the energy used in the forest industry now comes from wood wastes—from the shavings and sawdust which accumulate at sawmills, and from the waste bark and chemical residues at pulp mills. Hog fuel is the name given to some of these wastes; for they are chewed into manageable fragments by a machine called a "hog". Wood wastes used by the forest industry now provide some three per cent of all the energy used in Canada. This little-known contribution to our energy diet is larger than that of nuclear power.

But at least one third of the wood which arrives at mills is wasted. It is burned without energy recovery, or is dumped as landfill.

An even larger biomass resource than the wastes at mills are the branches, treetops, and foliage left in the forest. About half of the cutover forest is usually left as



Of the wood which comes to the mill one third remains as waste (bark and sawdust etc.) and is usually disposed of by burning.

logging residue. If gathered and brought to the mill, this residue could provide substantial quantities of energy.

Again, the existence of a resource does not necessarily mean it can be used. There are technical problems in harvesting logging residues; and with wood wastes in general, there are financial and organizational problems in matching supply with demand. Sawmills in British Columbia, for instance, produce far more wood wastes than they could possibly use. Only some of this surplus is shipped by barge to feed hog-fuel boilers at pulp and paper mills along the coast.

At the end of this booklet you can read about programs of research and programs of financial incentives mounted by the federal government and designed to encourage greater use of wood wastes for energy. These wastes are our greatest bioenergy resource. From them, researchers estimate that we could obtain eight per cent of our current (1983) energy needs.

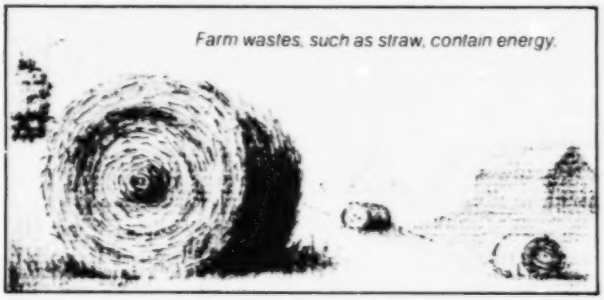
Farm Wastes

On a large farm near the town of Canning, Nova Scotia, the farm workers are doing something unusual. After each harvest they gather the waste straw from the fields, roll it into big bales, and burn it in a large furnace. Hot gases from this straw-burner are used to dry grains, and to provide warmth for 260 sows and their piglets in a hog barn.

This straw-burner is the first of its kind to be used in the Maritime Provinces—or, for that matter, in any part of Canada. Its demonstration and trial is being supported by federal government funds.

Straw is only one kind of farm waste from which we could draw energy. There is also animal manure. Some of the solar energy captured by plants and stored as biomass is transformed into manure by herbivores such as pigs, cattle and poultry. We, in turn, can transform manure into biogas, which is a combustible mixture of carbon dioxide and of methane (the main constituent of natural gas). Where thousands of animals are gathered in close quarters, as at beef feedlots and piggeries, a large quantity of manure is generated and has to be removed. Doing so by extracting its energy makes good sense.

About three per cent of Canada's energy supply is consumed on farms, mainly in the forms of oil, propane, diesel fuel and natural gas. It is a noteworthy fact that the total energy content of farm wastes is greater than the total energy consumption on farms. Yet, aside from limited testing, the bioenergy of farm wastes has not yet been exploited.



Farm wastes, such as straw, contain energy.

Why not? For one thing, it is a new idea. But there are other uncertainties: Does it pay? Crop residues and manure are low in energy density, so that in many situations the cost of collecting them and converting them into energy might not be justified. Also, does taking away straw, which normally would decay and return nutrients to the soil, damage the land's fertility? In the Prairies, straw left in the fields has other beneficial effects too: it reduces the erosion of soil by wind; and by trapping winter snow, it increases the moisture absorbed by the soil.

Yet the fact remains there is energy in farm wastes; and farmers have both the skills and equipment to handle the kind of conversion technology involved (see pages 15, 16). If some of the uncertainties about the use of farm wastes were satisfactorily answered, then they could contribute as much as three per cent of the energy we now use.

Garbage

That garbage can be a source of energy is demonstrated by the illuminating experience of construction workers who were building a large carpark for use during Expo 67 in Montreal. When they struck matches to light cigarettes, they found they set fire to a gas escaping from the ground. Underneath their feet, it turned out, was an old garbage dump in which biomass was being converted to methane.

We each throw out about two kilograms of garbage per day; and at least half of this material is organic—primarily paper. These wastes can provide an energy source in

cities, where they accumulate in large quantities. In Victoria and Charlottetown, garbage is burned to supply heat to hospitals. On a larger scale, at Quebec City, municipal refuse is trucked to an incinerator and burned to heat boilers; steam is then piped to a nearby pulp and paper mill.

There are still questions, though, about the best way to use this kind of biomass. For instance, one study concluded that instead of burning paper, it would make more sense to recycle it.

The total amount of available energy accumulating every year in garbage dumps across the country is not extremely large—less than 0.1 per cent of all the energy we now use in a year.

Energy Plantations

In surveying Canada's bioenergy resources, we have looked at energy now being captured by the vegetation in forests and on farms. The size of this resource could be considerably increased by cultivating land with energy crops; that is, by creating energy plantations. Of course, the plants used for such a purpose should be those that put on the most weight in a growing season.

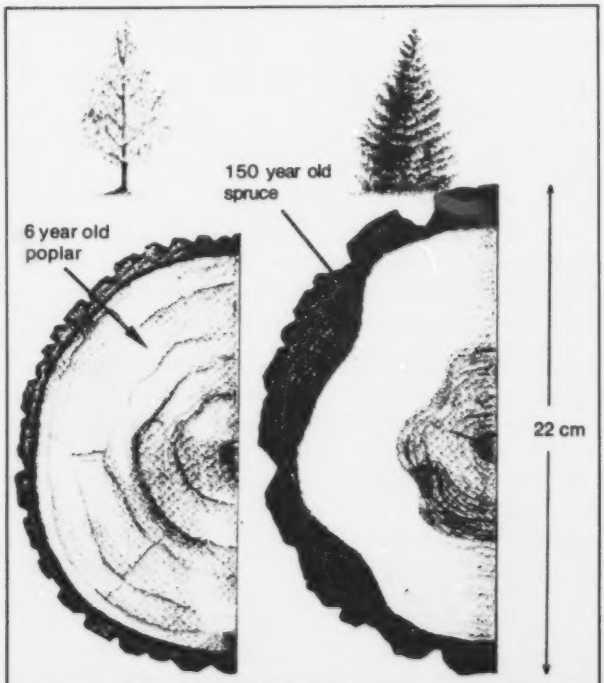
One such plant, which has been suggested for use in Canada, is the Jerusalem artichoke, also known as the wild sunflower. It occurs as a tall weed, and can be cultivated like a potato. After the same growing season, however, a harvest of Jerusalem artichokes would be double the weight of a harvest of potatoes taken from equal areas.

How would this stored energy be used? The plant matter could be fermented to produce a liquid alcohol for motor fuel. This work is still at the experimental stage.

In southeastern Ontario, experimental tree farms have been planted by that province's Ministry of Natural Resources. Here researchers are looking at specially bred types of fast-growing poplar trees which in one year can grow from seedlings 25 cm high to saplings more than 200 cm high. Land planted with this crop would produce twice as much biomass per year as land planted with Jerusalem artichokes, and its yield would be many times greater than that of a conventional forest. The price for such high yields is intensive care. A new term—agroforestry—has been coined to describe the grooming, fertilizing, weed control, and irrigation that is required to sustain growth in such a productive tree factory.

Energy is not the most widely studied use for the biomass from poplar plantations. In the immediate future, providing logs to pulp and paper mills is the most likely application. As well, poplar can be converted into feed for cattle, or into chemicals.

Yet before any application of poplar can be made on a wide scale, more must be learned about the ecology of such one-crop farms. How well do they withstand insect attack, or disease? How quickly would nutrients be drained from the soil, as crop after crop is harvested? These questions suggest that there are problems to be overcome before energy plantations on a large scale could be feasible. Nonetheless, if they were successfully established, it is estimated they could provide a significant portion of the energy we now use.



It takes only six years for a hybrid poplar to grow as big, in terms of diameter at the base of the trunk, as a 150 year old northern spruce.

The Technology

How Biomass Is Converted and Its Energy Extracted

We have seen how plants use solar energy to assemble hydrogen, carbon, oxygen and other atoms into complex arrangements. Now we look at ways of disassembling these ordered structures, and thus putting their stored energy to work.

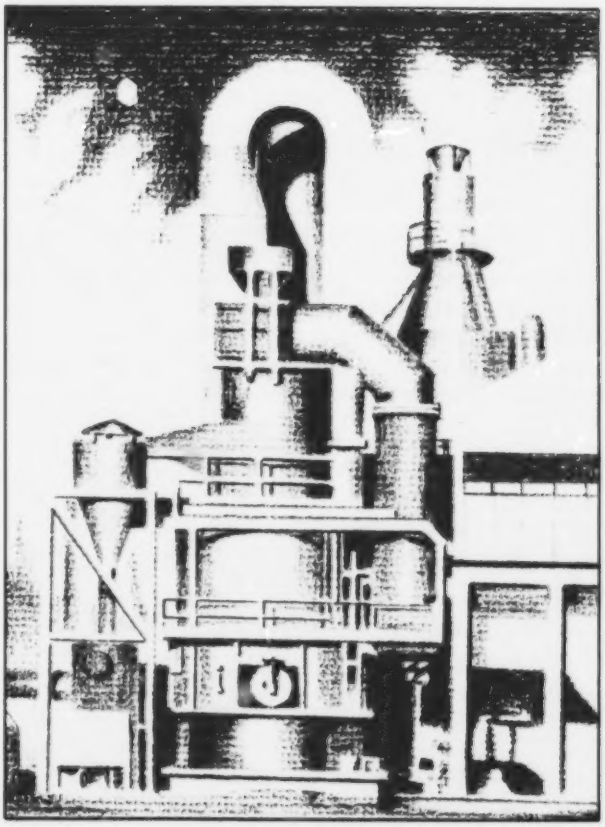
The most straightforward way to do this is to burn biomass to get heat. Combustion is the combining of oxygen with atoms of a fuel. For example, in a wood stove, this process quickly reduces a log of wood to carbon dioxide, water and ash. The energy originally trapped from sunshine is released as light and heat.

Many technologies for using biomass are converters; that is, they are devices for changing biomass into other forms that we find more convenient or efficient to use. For instance, the early Egyptians knew how to bake wood, decomposing it into charcoal and tar. With the tar, they embalmed their dead, mummifying them. Since it contains more energy per kilogram than wood, charcoal was a good form in which to transport bioenergy from the Nile Valley, out to mines in the surrounding desert hills, there to be burned in the smelting of gold. And today, for millions in the Third World, charcoal is still the dominant form of energy.

We can also turn biomass into a gas similar to natural gas; and in the laboratory, we can even change biomass into fluids that resemble crude oil. All these conversions depend basically on cooking-type techniques: heat, steam, pressure and added chemicals (called catalysts) are used to bring about the changes.

We can also use brewing techniques. Fermenting biomass with a high sugar content to make wine and beer is, like charcoal making, an ancient art. But alcohols can also serve as a liquid fuel. Gases suitable for heating homes, or for cooking, can be produced by bacteria digesting manure and crop wastes. And we can also use raw material from plants to produce chemicals, such as plastic, that are now made from fossil fuels.

There is a wide range of technical options for converting biomass, and extracting its energy. Some techniques are ancient; while others are only now being sketched out in laboratories. Some are also appropriate for use by



individuals or small communities, in contrast to still others that rival a petroleum refinery in scale and complexity.

On the very frontier of the development of new techniques is biotechnology—the applied use of biology. Researchers in this rapidly expanding field are studying ways to genetically influence the formation of biomass in plants. They envision the possibility of tailor-making plants in order to maximize their energy production.

With respect to biotechnology, however, it is important to realize that no matter what new ideas scientists discover, many years must elapse before they can be applied. The history of nuclear power is an example. In 1942 the atomic age opened when the first fission chain reaction was started in a Chicago research laboratory. Now, more than 40 years and billions of dollars later, nuclear power contributes a small proportion (about two per cent) of Canada's energy supply. It takes time, usually

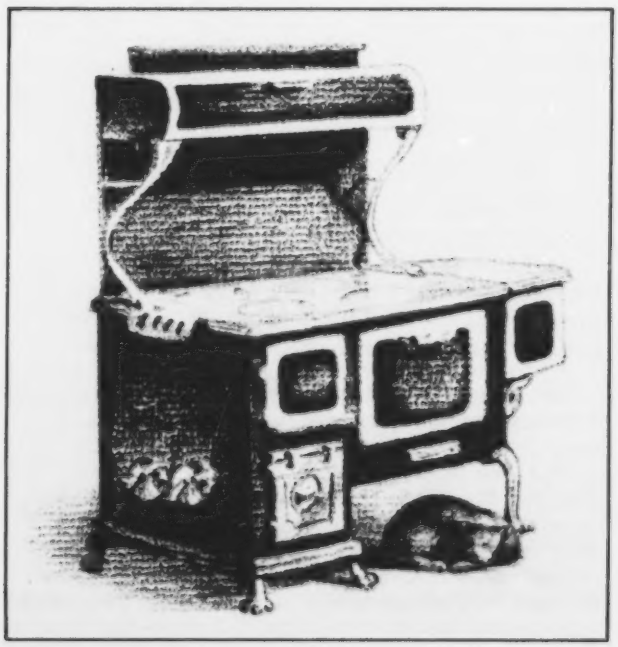
at least 20 years, for an invention to mature from idea to practical reality—for working models to be built, tested, refined and enlarged in the process called research, development and demonstration. Any technology that might provide us with more usable bioenergy by the turn of the century has probably been invented.

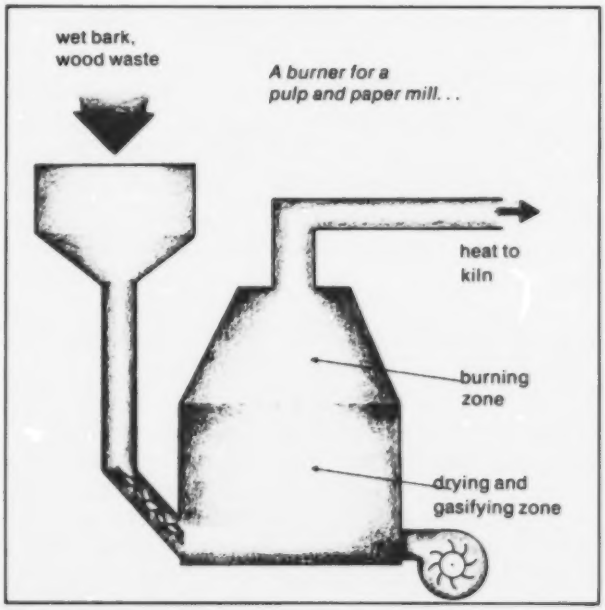
Combustion

At least two per cent of Canadians heat their homes by burning wood. Wood stoves, furnaces and other combustion technologies are well developed. In the forest industry, hot flue gases from burning wood waste are used to dry lumber at sawmills. In pulp and paper mills, they generate steam in boilers.

Some of the problems that arise in these applications are due to the nature of the biomass used: it is frequently wet and bulky. Chipping wood fuel to matchbook size makes it easier to handle.

Another innovation in combustion technology is the fluidized bed. In the bottom of such a combustion unit, a bed of sand or other material is kept in a fluid state by a flow of air. Burning is rapid and complete, because all surfaces are exposed to oxygen.

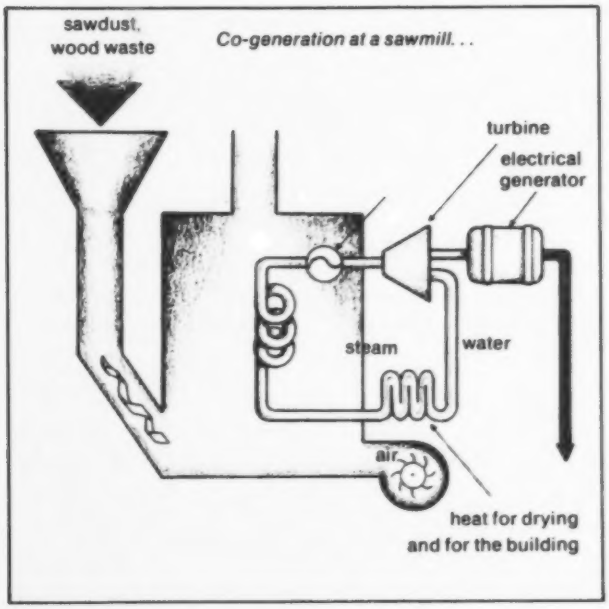




Electricity

There is a small sawmill in Sydney, Nova Scotia, which is powered completely by sawdust and other wastes. These are burned in a boiler to produce steam, which in turn drives an electrical generator. After the steam has turned the turbine blades of the generator, any heat it retains is extracted to warm the building, as well as to dry wet chips of waste wood, which are then pressed into fireplace logs and sold. Every scrap of wood that enters the sawmill is used. This demonstration of self-sufficiency is funded by the federal government.

The Nova Scotia sawmill is a small-scale example of one of the most efficient ways of using biomass—co-generation, the generation of useful heat and electricity at the same time. Co-generation can be applied in pulp and paper mills, where the large quantities of steam required are generated in high-pressure boilers. To drop steam pressure to the low values at which it is used, the steam can be run through the turbine blades of an electrical generator. The cost of the electricity generated is about half the cost of power obtained from building new hydro, nuclear or coal-fired power stations.



The reason why more pulp and paper mills do not use this technology is economic, rather than technical: their owners invest capital where it will bring the greatest profit, not where energy is used most efficiently. Co-generation would mean generating more electricity than pulp and paper mills could use.

Gasification

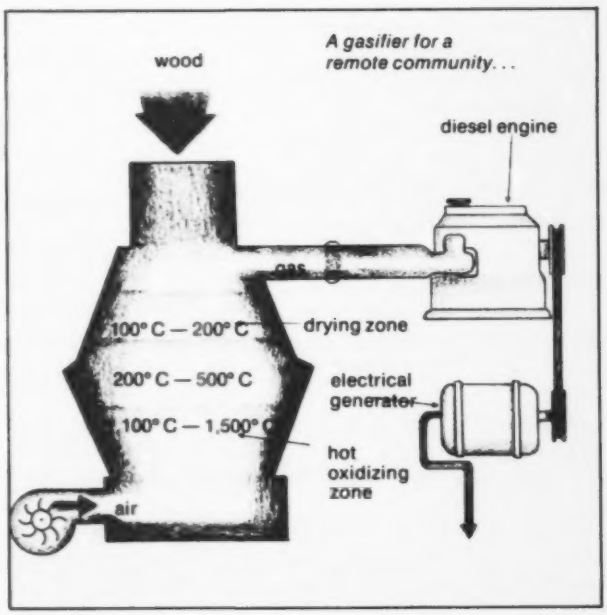
Wood and other forms of biomass can be turned into gas. This conversion puts them into a form in which they burn efficiently and cleanly.

Gasification is not a new technology. During the Second World War, when liquid fuels were scarce, many trucks in Europe were modified so that their engines could be supplied by a gasifier—a smoking, wood-burning cylinder mounted on board and producing a gas fuel.

Today, gasification could be used to provide power in remote communities. To the north of the town of Hudson Bay, Saskatchewan, lie isolated communities far removed from the electrical transmission network, but surrounded by forest. With help from federal government funds a gasifier is being tested at Hudson Bay. It converts wood into a gas that is fed to a modified diesel engine, which in turn drives an electrical generator.

Gasifiers mimic the process by which natural gas was produced from organic material in the earth. The biomass is heated in pressurized containers without enough oxygen present for complete combustion, and turned into gases—mostly hydrogen, methane and carbon monoxide.

When air is a gasifier's only source of oxygen, the heat obtained from a unit volume of the mixture of gases produced is much less than that of a unit volume of natural gas. To increase the heating value, pure oxygen is added. The better quality gases thus generated can provide high temperatures when burned; or from them, methanol, a liquid fuel, can be made.



Most gasifiers now being developed produce a gas which is low in heating value, but which can be burned in modified boilers originally designed for oil or natural gas.

Studies have shown that converting wood wastes to gas, and then burning the gas for heat, could eliminate more than half of the fossil-fuel consumption in the forest industry. Further work is required to develop reliable gasifiers and gas burners. Again, fluidized beds, which allow rapid and easily controlled burning, are being considered.

One of the most efficient uses for gas from biomass is generating electricity by means of gas turbines. These are compact and inherently simple devices, which have the same working principles as a jet engine.

Liquid Fuels

It is possible to convert biomass into liquid fuels which are capable of doing the job that oil does so well: powering mobile engines in cars, trucks and other vehicles.

"We can get fuel from fruit," Henry Ford said. "There is enough alcohol in one year's yield of potatoes to drive the machinery necessary to cultivate the potato field for a hundred years."

To the chemist, alcohols are organic chemicals formed of specific combinations of carbon, hydrogen and oxygen. The simplest of the alcohols is called methanol; it is a poisonous, colorless and flammable liquid, also known as wood alcohol. Next in level of complexity is ethyl alcohol or ethanol; somewhat less poisonous, it is the main ingredient of beverage spirits such as whisky, gin and vodka. Both make excellent motor fuels.

Methanol was used in eighteenth-century Paris for cooking, heating and lighting. Today it is used to power racing-cars. A few thousand U.S. stations are now selling this fuel.

Ethanol mixed with gasoline is known as gasohol, and is sold in several thousand service stations in the United States and a few stations in Manitoba, for use in conventional car engines.

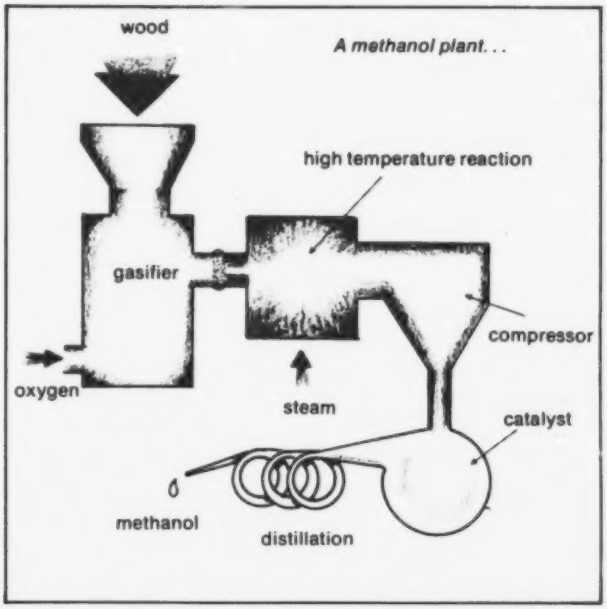
Ethanol is made by fermenting plants rich in sugar; yeast micro-organisms eat the sugar and produce the alcohol. Brazil, with lots of sun and water for growing plants, but little oil, is fuelling millions of its automobiles with ethanol from home-grown sugar cane and other crops. We are short of sugar-producing plants in Canada but it is not much more difficult to convert starch from other plants to sugar, which can then be fermented. It is also possible to convert cellulose from wood, farm or municipal wastes to sugar and thence to ethanol.

By planting a tenth of his land to a fuel-alcohol crop, the average Canadian farmer could be self-sufficient in motor fuel. Of course, private alcohol production is not now permitted without a licence.

The energy required to grow and harvest grain, to ship it, and convert it to alcohol exceeds the energy contained by the final product. Techniques for producing ethanol for fuel are being made more efficient, but the net energy gained is at best small. Furthermore, the cost per litre of ethanol generally exceeds the 1983 cost of gasoline.

Here in Canada, it seems that methanol will be a better renewable liquid fuel, if only because its costs would be less than that of gasoline. Methanol is now made commercially from natural gas. The technology used could also convert synthesis gas produced from wood wastes and other biomass into methanol. First the gases are purified, and subjected to high-temperature reactions over catalysts; steam is added, and more catalysts; the carbon to hydrogen ratio adjusted—it is a complex and high-technology process borrowed from the petrochemical industry.

Besides the development of gasifiers, there are other technical problems with methanol : existing engines have been designed for burning gasoline, not methanol; methanol cannot readily be mixed with diesel fuel; it hinders engines from starting in the cold; and is corrosive in the engine and swells or dissolves some plastics. However, if these problems are overcome—and none seem insurmountable—it is possible that methanol could become a major transportation or heating fuel in Canada.



There are also more distant possibilities for converting renewable biomass into liquid fuels. Now being tested in a number of laboratories are recipes—all involving some combination of heat, pressure and catalysts—which directly convert organic matter into a synthetic fuel oil. These liquefaction recipes are sophisticated efforts to emulate what nature took many millions of years to do. At the University of Toronto, in Ontario, scientists with federal government support are putting wood from poplar trees (grown on experimental plantations) into a reactor, and taking out a black, viscous oil. Another advanced liquefaction experiment is being conducted at the University of Sherbrooke, in Quebec, where samples of peat are being converted into oil.

As well, there are recipes for obtaining industrial chemicals from biomass: for example, ethylene from which polyethylenes are made. But because it will take at least a generation to develop any of these advanced techniques for widespread use, they are not going to affect the energy picture until the next century.

Biogas

Though they might not use the term, biogas is familiar to most peasants in India and China. In these countries, manure from animals and humans is put into tanks where bacteria digest it, and produce a gas used for cooking, lighting, running engines and other tasks.

The bugs involved are formally known as anaerobic bacteria: "anaerobic" meaning that they flourish in the absence of oxygen. Such micro-organisms occur in nature within soils, in swamps and at the bottom of lakes, rivers and oceans, where they break down complex organic molecules into simpler forms. The will-o'-the-wisp, the flitting light sometimes seen over marshes at night, is not due to ghosts, but to the spontaneous combustion of biogas.

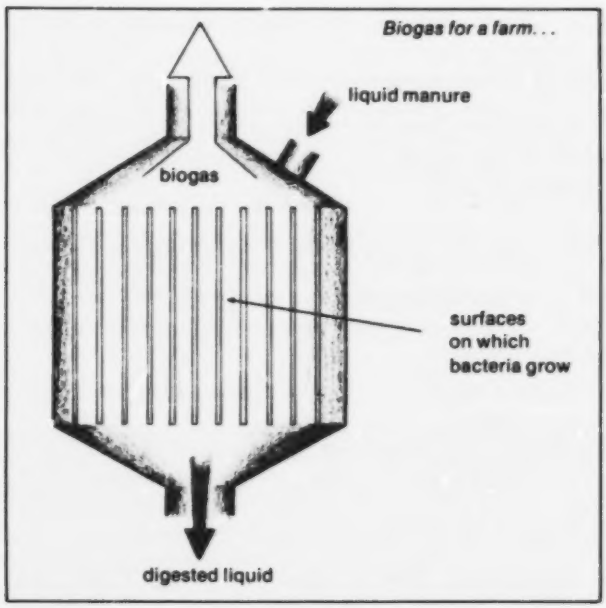
In nature, anaerobic bacteria digest at too leisurely a rate to make their biogas production of practical interest as a source of energy. At both food and sewage treatment plants, where they are used to break down raw, organic material, the biogas they produce is usually discarded. Why not, when possible, use it for energy?

This is exactly what is happening at a large feedlot near Waterloo, Ontario. The liquid portion of manure generated by the 5000 or so cattle confined there is collected in a sealed, insulated tank, heated, and digested by bacteria. The biogas produced is burned to provide the heat needed to keep the process going; as well as to fuel an engine driving a small electrical generator.

Biogas is not the only byproduct of this digester. The sludge remaining in the tank contains protein, which is recovered and fed to the cattle. (Fertilizer, too, is frequently a byproduct of anaerobic digesters.)

The more biomass to be disposed of, the more economically attractive is biogas production. One study, sponsored by the federal government, showed that a food-processing plant in the Maritimes could get the energy now supplied by over three million litres of fuel oil by turning its wastes into biogas. How much energy could a farmer obtain from the wastes of his animals? About 800 pigs, or 100 cattle, would be needed to supply, in the form of biogas, the energy annually consumed in a rural home on the Prairies.

A biogas generator is more like a city than a machine. The working micro-organisms which populate it are organized into three co-operating groups. Some break down the organic material supplied into simpler sugars and acids. A second group, further down the disassembly

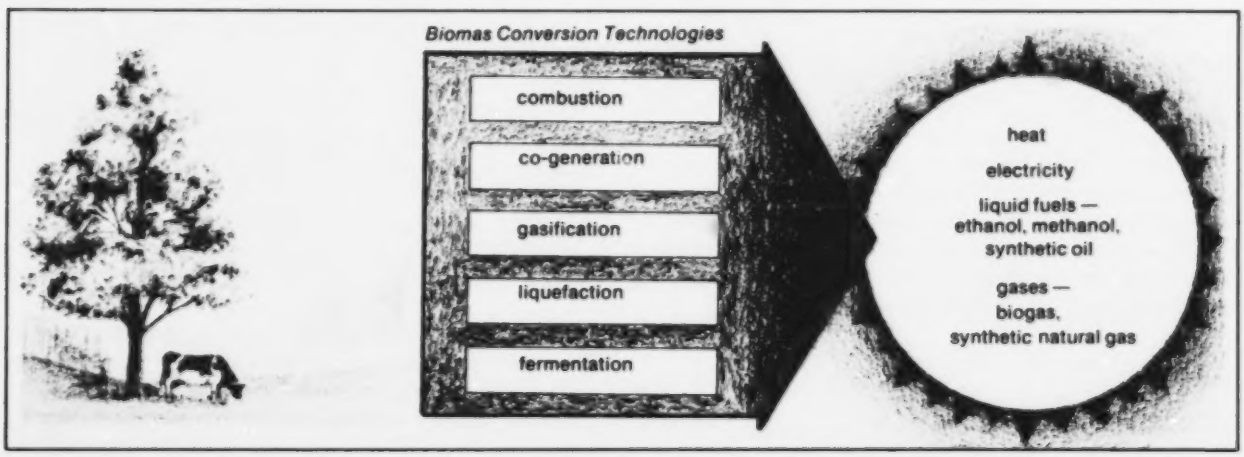


line, digests the products of the first group, providing still simpler, shorter chains of atoms to be gobbled up by the last group of workers, the methane-producing bugs.

We know very little about the ecology of such bacterial communities, but we do know how sensitive they are. They can be killed by cold or by exposure to air; and to start their numbers growing is often tricky. What most farmers, and other potential biogas-users, would like are reliable digesters that require a minimum of supervision to operate. A number of demonstration projects are now in place aimed at improving the development of this technology.

At the National Research Council laboratories in Ottawa, there have been promising advances in both the design and theory of anaerobic digesters. Small-scale units are being operated and tested for which the rate of gas production is about five times that of most currently installed digesters. The improved performance of these test-units is largely due to an increase in the internal surface areas on which bacteria can cling and grow. Such high-rate biogas digesters, if developed commercially, could be made inexpensive enough to be practical for small-scale applications.

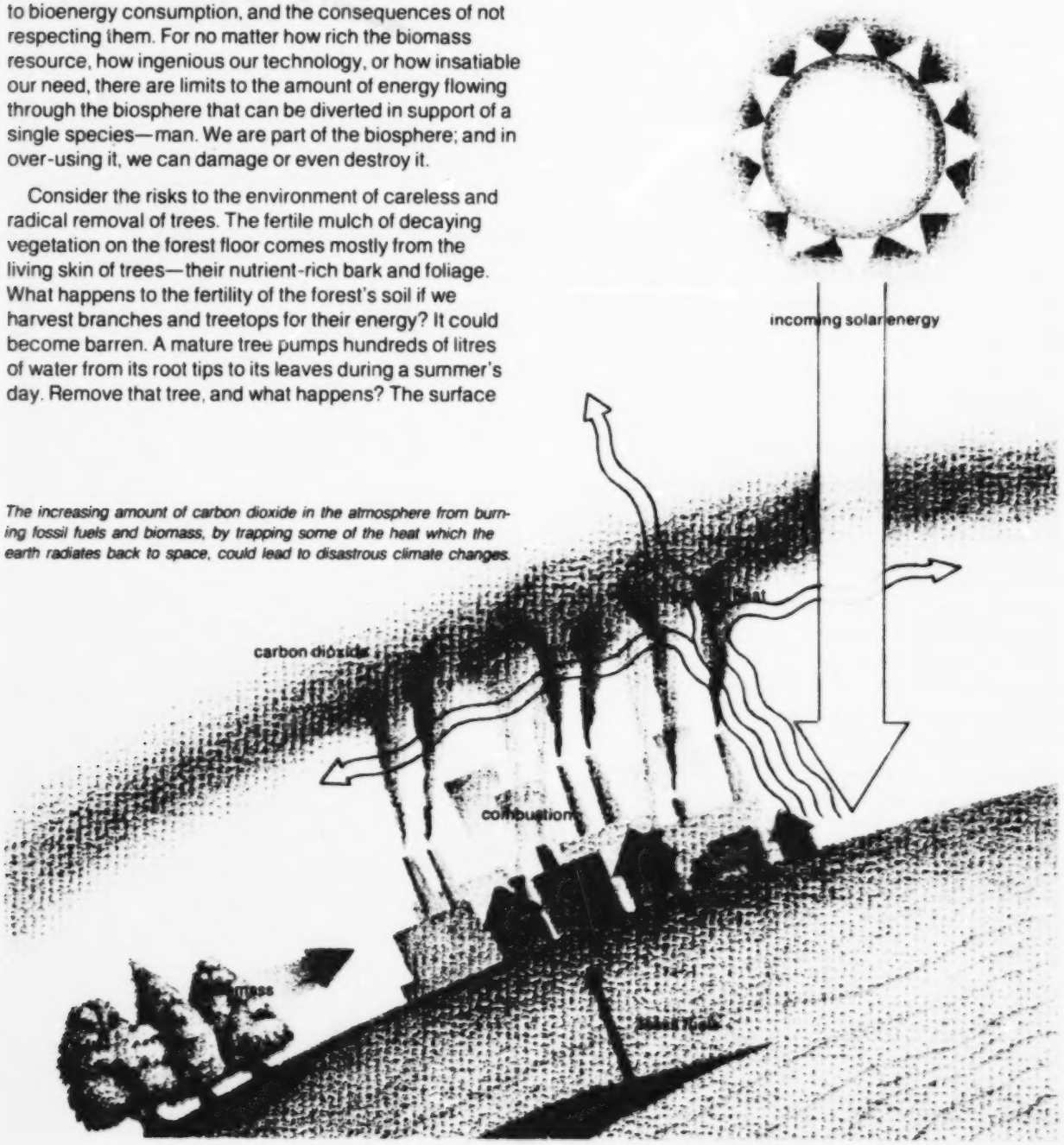
Fundamental work on the ecology of bacteria has helped these engineering developments. Some of the methane-producing bugs in the digester community have been isolated for study—a difficult feat, for it is hard to keep them alive outside the community on which they depend. A group of bacteria which can only survive by eating cellulose has also been isolated. Cellulose is the material from which the cell walls in plants are formed, and is therefore the major bulk of our biomass resource. (For instance, cellulose is the main constituent of wood, and hence of city refuse and logging wastes.) It is also unusually tough to digest. But the newly discovered bugs can convert it into soluble sugars and acids, from which a host of further, useful conversions can be made.



Environment

Researchers are now beginning to map out the limits to bioenergy consumption, and the consequences of not respecting them. For no matter how rich the biomass resource, how ingenious our technology, or how insatiable our need, there are limits to the amount of energy flowing through the biosphere that can be diverted in support of a single species—man. We are part of the biosphere; and in over-using it, we can damage or even destroy it.

Consider the risks to the environment of careless and radical removal of trees. The fertile mulch of decaying vegetation on the forest floor comes mostly from the living skin of trees—their nutrient-rich bark and foliage. What happens to the fertility of the forest's soil if we harvest branches and treetops for their energy? It could become barren. A mature tree pumps hundreds of litres of water from its root tips to its leaves during a summer's day. Remove that tree, and what happens? The surface



The increasing amount of carbon dioxide in the atmosphere from burning fossil fuels and biomass, by trapping some of the heat which the earth radiates back to space, could lead to disastrous climate changes.

run-off of water increases. Remove too many such trees, and the soil, no longer anchored and drained by tree roots, is washed off or blown away. History has many examples of the sad results of irresponsible deforestation; the dust bowl, for example, a region of the central United States where, during the 1930s, fertile soil was eroded by the wind and dispersed over thousands of miles.

The risk of making land barren is not the only environmental limit on our use of biomass. During the past century, measurements of the concentration of carbon dioxide in the atmosphere have shown an unmistakable increase. Why? Because we have been burning fossil fuels at an extraordinary rate, releasing their stored carbon into the air. If we dramatically increase the rate at which we burn up biomass, then we accelerate the rate of carbon dioxide build-up in two ways: by reducing the number of plants which could take carbon dioxide out of the air; and by adding more carbon dioxide from the combustion of their biomass.

And why should this be alarming? Because carbon dioxide in the atmosphere traps heat radiating out from the earth. Though the mechanisms involved are imperfectly understood, scientists expect that temperatures in the atmosphere will increase with the build-up of carbon dioxide. A global warming could affect the climate, creating both harmful and beneficial results. Some might welcome a more moderate climate in the Northern hemisphere; few would welcome the decrease in precipitation which scientists also predict, for it could create a desert of the region now considered to be the world's bread basket.

We tend to think of the use of bioenergy as benign—and so it is, on a small scale. The contented owner of a rural, wood-heated home knows that whatever pollutants are in the smoke blowing from his chimney are harmlessly absorbed. But the immoderate, large-scale use of biomass could begin to unravel the web of mutual dependency that links us and all other living things together.

Used carefully, our forests can continue to supply us with energy. Used carelessly, this renewable resource, and the soil on which it grows, will dry up.

Summary

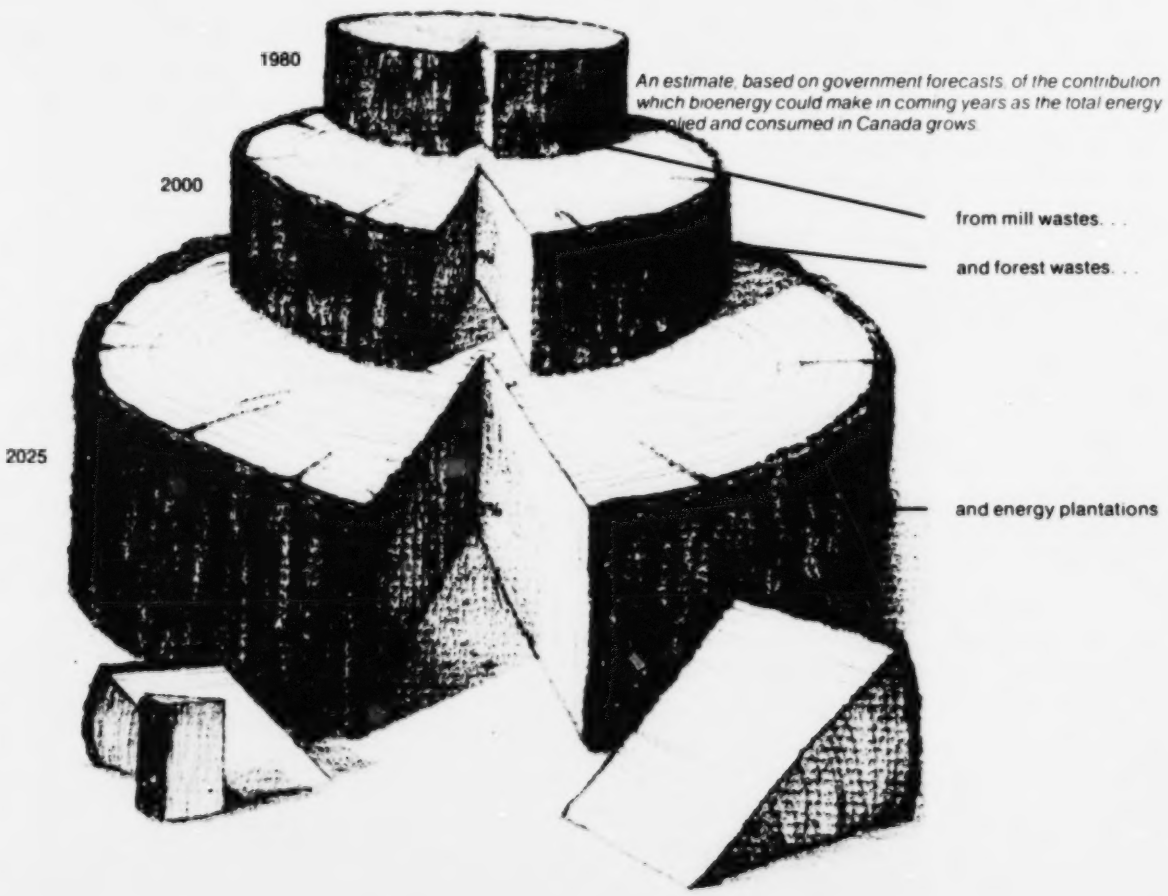
Canadians are fortunate in the great wealth and range of their energy resources—natural gas, coal, uranium, tar-sands and hydro power, among others. To this list we can add biomass. Of the energy we now use, some four per cent comes from our forests.

How much more can we draw from our bioenergy sources? The answer, of course, depends on many factors, such as cost and the availability of alternatives.

How much we can extend our use of bioenergy depends also on what answers are found to the questions researchers are asking.

But where it can be appropriately used—on farms, in pulp and paper mills, in sawmills, in remote communities, in rural homes with woodlots—bioenergy will make its contribution. By replacing fossil fuels with energy from a renewable source, it will reduce our dependence on exhaustible and increasingly expensive oil.

The last major energy transition we made, to oil, was easy. Our civilization was quickly adapted to run on this convenient fuel, and our energy appetite was whetted by its cheapness and apparent abundance. Now we have to switch to a combination of sources, and reduce our appetite. It is not an easy transition. Bioenergy, a partial solution to a complex problem, can help.



An estimate, based on government forecasts, of the contribution which bioenergy could make in coming years as the total energy supplied and consumed in Canada grows.

Federal Government Bioenergy Program

During recent years the federal government, through a number of its departments, has initiated many programs aimed at developing the inexhaustible sources of energy such as wind, biomass, geothermal and solar. The overall goal of these programs is to reduce our reliance on exhaustible and imported oil. Here is a brief list of the major bioenergy initiatives.

Exploring the conversion of wood to alcohol, improving the efficiency and safety of wood-burning systems; these are some of the many projects financed by the government's Interdepartmental Panel on Energy Research and Development. The National Research Council coordinates this work. Some of it is carried out in government laboratories, most of it is done under contract by industries, universities and research organizations.

The FIRE (Forest Industry Renewable Energy) program administered by Energy, Mines and Resources (EMR) began in 1978. The initial goal: to encourage the forest industry to double the amount of energy produced from waste wood. The program offers grants of up to 20 per cent of the capital needed to buy wood-burning equipment, or to modify oil- or gas-burning furnaces for biomass combustion. The government then extended this program to include all industrial or commercial users and municipalities who adopt biomass fuels. The energy content of all the fossil fuel saved by FIRE, per year, is now equivalent to that of seven million barrels of oil.

Grants of up to $800 are offered under the Canada Oil Substitution Program, to those who convert a home - heating system from oil to wood.

ENFOR, Energy from the Forest, also began in 1978. It is administered jointly by Environment Canada and Energy, Mines and Resources and supports research on, and development of, ways to produce biomass and convert it to energy. ENFOR has supported advances in new liquid fuels such as ethanol production and in renewable energy technologies such as wood combustion efficiency.

DRECT, Development and Demonstration of Resource and Energy Conservation Technology, a program administered jointly by EMR and Environment Canada, offers financial incentives for recovering energy from municipal and industrial wastes. For example, a municipal waste-burner for a Charlottetown hospital was subsidized by this program.

The objectives of the Federal/Provincial Conservation and Renewable Energy Demonstration Agreements (CREDA) program are to reduce the financial risks of demonstrating new technologies related to conservation and renewable energy, thereby accelerating the commercialization of these technologies (such as burners that use peat). Most of the provinces have agreed to participate. The total budget for federal contributions to these demonstrations is $113 million, of which an estimated 25 per cent will go to projects involving bioenergy.

Canertech Inc., a Crown corporation with head offices in Winnipeg, was established to provide venture capital — $20 million has been allocated — for investment in conservation and renewable energy industries.

ERDAF, the Energy Research and Development in Agriculture and Food program, is administered by Agriculture Canada. Its objective is to promote research and development dealing with energy problems in the agriculture and food system.

Sources of Information

Organizations

THE BIOMASS ENERGY INSTITUTE INC.
P.O. Box 129, Postal Station "C"
Winnipeg, Manitoba
R3M 9Z9
A clearing house for information on bioenergy and a co-ordinating body for the business, government and academic communities.

ENERGY, MINES AND RESOURCES CANADA
P.O. Box 3500
Station "C"
Ottawa, Ontario
K1Y 4G1
This publication, Bioenergy, is just one of the many available from the Publications Distribution Centre.

ENERGY, MINES & RESOURCES CANADA
Renewable Energy Division
Coal & Alternative Energy Branch
580 Booth St.
Ottawa, Ontario
K1A 0E4
Responsible for coordinating and developing renewable energy policies and programs.

ENFOR SECRETARIAT
Canadian Forestry Service
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0E7
The ENFOR program funds research into new methods for substituting forest biomass for non-renewable fuels.

ENGINEERING AND STATISTICAL RESEARCH INSTITUTE
Agriculture Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0C6
Home of the federal government's agricultural energy research and development program.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
Ottawa, Ontario
K1A 0R6
The Energy Branch Library of the Canada Institute for Scientific and Technical Information makes bioenergy research reports and bibliographies available through interlibrary loans.
The Public Information Branch distributes booklets, including this one, and responds to queries.

Readings

Books

Niels Askov and Mark Papworth
The Pegasus Unit
Pegasus Publishers Inc., Olympia, Washington, U.S.A. 98507
A review of technologies for generating gas from wood with engineering drawing available for the "do-it-yourselfer."

Andre Delisle
La Biomasse, l'énergie naturelle aux mille facettes
Énergie et Ressources Québec, 1979

Heating With Wood
Energy, Mines and Resources Canada, 1982
An excellent booklet for the consumer who is considering heating with wood.

H.M. Lapp, D. Shulte and M.A. Stevens
Biogas Production from Animal Manure
Biomass Energy Institute Inc., 1978
A useful and free booklet.

Richard Merrill and Thomas Gage
Energy Primer
Dell Publishing Co. 1978
Similar in format to the Whole Earth Catalogue, and containing a wealth of information.

Periodicals

Renewable Energy News
P.O. Box 4869, Station "E"
Ottawa, Ontario
K1S 5B4
A monthly newspaper covering developments in all renewable energy technologies.

Bio-Joule
The newsletter of the Biomass Energy Institute.

This booket is the second in the *Exploring Energy* series.

The first in the series is *Wind Energy*.

Energy, Mines and Resources, and the National Research Council are publishing these booklets to help explain how various sources of energy can be harnessed, and to report on scientific and engineering developments.

Copies of these booklets, and further information, are available free of charge from:

Publications Distribution Center
Energy, Mines and Resources
P.O. Box 3500
Station "C"
Ottawa, Ontario
K1Y 4G1

Publications Office, M-58
National Research Council
Ottawa, Ontario
K1A 0R6

Également disponible en français.

ISN - 31448

En quête d'énergies nouvelles · 2

L'énergie verte

Canada

Couverture:

Il y a 100 ans, la plupart des maisons canadiennes étaient chauffées à l'énergie verte — par le rayonnement solaire emmagasiné par les arbres et libéré dans les poêles à bois.

Réalisé pour le compte d'Énergie, Mines et Ressources Canada
et du Conseil national de recherches du Canada
par Sean McCutcheon et Associés.

Traduction : Vonik Tanneau
Révision : DIP, CNRC
Conception graphique : Quorum Graphics

Copyright© 1984 : ministre des Approvisionnements et Services
N° de cat. NR35-2/2-1984F
ISBN 0-662-92463-0

En quête d'énergies nouvelles · 2

L'énergie verte

par Sean McCutcheon
Illustré par John Bianchi

Gouvernement du Canada Government of Canada

Avant-propos

Les Canadiens consomment beaucoup d'énergie. Depuis le début du siècle nous profitons d'une énergie abondante, bon marché et commode, notamment sous forme de pétrole. Notre soif de pétrole a tari nos sources classiques et nous devons maintenant l'importer d'autres pays. Des événements récents sur la scène internationale nous ont fait réaliser le danger qu'il y a, sur les plans stratégique et financier, de dépendre, en tant que nation, d'autres pays pour une marchandise aussi essentielle que l'énergie. L'augmentation continuelle de la consommation mondiale de pétrole nous a d'autre part permis de nous rendre compte que les gisements ne sont pas inépuisables. Au rythme actuel, nos petits enfants assisteront au pompage de la dernière goutte de pétrole de nos champs pétrolifères. Nous devons de toute évidence mettre un frein à notre appétit énergétique et apprendre à tirer parti d'une gamme plus large de sources d'énergie, même si elles doivent s'avérer moins commodes et plus coûteuses à exploiter que celles auxquelles nous étions habitués.

Si nous voulons nous affranchir de notre dépendance à l'égard de sources d'énergie en voie d'épuisement comme les combustibles fossiles, la nécessité de recourir à des sources d'énergie renouvelables apparaît évidente. L'énergie hydraulique contribue déjà dans une large mesure à couvrir nos besoins en électricité; nous devons continuer à explorer cette ressource d'énergie inépuisable. Les autres sources d'énergie renouvelables qu'il nous faut également étudier sont l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse forestière et des déchets agricoles, et l'énergie géothermique que recèlent les entrailles du globe terrestre. L'objet de cette série de brochures est de faire le point sur les progrès réalisés en vue de tirer parti de ces nouvelles sources d'énergie.

La présente brochure décrit les principaux aspects de l'utilisation de l'énergie provenant de la végétation ou de la biomasse. L'énergie verte, ou énergie de la biomasse, est l'énergie du rayonnement solaire, convertie dans les végétaux par la photosynthèse. Le lecteur trouvera dans ces pages la description des différentes sources d'énergie verte, allant de la forêt et des récoltes aux déchets. Il y fera également connaissance avec les différentes méthodes de collecte de cette ressource, ainsi qu'avec les règles à observer pour que ces ressources demeurent réellement renouvelables. On y explique également les différentes technologies qui permettent de convertir l'énergie verte en des formes plus pratiques, ainsi que les possibilités de produire des carburants liquides de remplacement pour les automobiles, les camions et les tracteurs, à partir des déchets ligneux ou des céréales. La plupart des technologies exposées en sont encore au stade du développement et permettront certainement d'augmenter, dans les années à venir, la part de l'énergie verte dans le bilan énergétique du Canada.

Programme de recherche et de développement énergétiques
Conseil national de recherches du Canada

Direction du charbon et des énergies de rechange
Énergie, Mines et Ressources Canada

Table des matières

Avant-propos 2

Qu'est-ce que l'énergie verte? 4

La ressource 5

Les végétaux, capteurs d'énergie 5
La végétation 6
Les résidus 7
Les résidus forestiers 8
Les déchets agricoles 9
Les déchets 9
Les plantations énergétiques 10

La technologie 11

Bioconversion et production énergétique 11
La combustion 12
L'électricité 12
La gazéification 13
Les carburants liquides 14
Le biogaz 15

L'environnement 17

Résumé 19

Programmes gouvernementaux 20

Sources d'information 21

Qu'est-ce que l'énergie verte?

NERGIE VERTE ou énergie de la biomasse, c'est l'énergie solaire qui a été captée par les végétaux et emmagasinée sous forme de matières utilisables comme aliments ou comme combustibles. Les arbres, par exemple, donnent un bois que nous brûlons; le blé, une céréale que nous mangeons. De fait, pendant que vous lisez ces lignes, vous consommez sans le savoir de l'énergie verte.

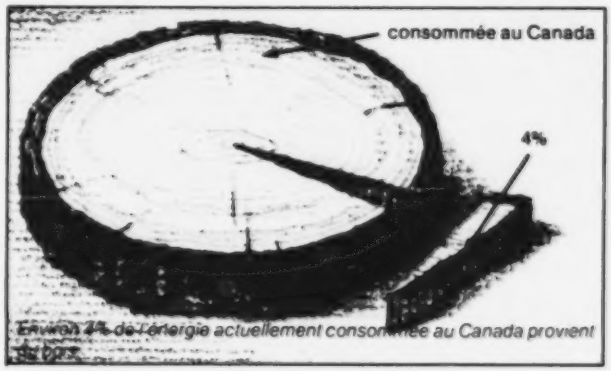
En brûlant le bois ou en faisant fermenter les matières végétales pour obtenir du carburant liquide, ou encore en transformant le fumier en gaz, nous pouvons puiser à même ces réserves d'énergie renouvelables présentes dans les organismes vivants pour faire fonctionner les automobiles et les camions, les papeteries et les scieries, et pour chauffer les maisons et les porcheries.

La plus grande partie de l'énergie que nous consommons aujourd'hui provient de la décomposition de plantes qui vivaient, il y a de cela, des centaines de millions d'années. Une fois mortes, elles ont été enfouies dans le sol, où elles se sont transformées en ce que nous appelons les combustibles fossiles : le pétrole, le charbon et le gaz naturel.

Le pétrole, à cause du fait qu'il se présente sous une forme extrêmement compacte, est devenu la principale source d'énergie dans le monde. Mais, ce n'est qu'assez récemment qu'il a acquis cette importance ; il y a seulement une centaine d'années, la presque totalité de l'énergie consommée au Canada provenait du bois. Aujourd'hui, on trouve plus pratique d'utiliser le pétrole que le bois. Et pourtant ce dernier, ainsi que les autres sources d'énergie verte, offre un grand avantage, celui d'être renouvelable, alors que, pour ce qui est des combustibles fossiles, les réserves que recèle la Terre sont limitées.

La cadence à laquelle nous puisons le pétrole à même les ressources souterraines a atteint un seuil maximal. Désormais, le pétrole est appelé à devenir une denrée de plus en plus rare et de plus en plus chère.

Comment faire face à cela? La réaction la plus intelligente consiste certainement à réduire notre consommation d'énergie. Les Canadiens sont en effet les plus gros consommateurs d'énergie au monde. Cela est dû en partie au fait que nous vivons dans une région froide du globe où la population est de plus très disséminée — il faut beaucoup d'énergie pour faire vivre un pays comme le Canada. Il y a aussi le fait que notre richesse en ressources énergétiques nous a fait prendre des habitudes de gaspillage.



Environ 4% de l'énergie actuellement consommée au Canada provient de la

Une autre possibilité consiste à faire appel aux sources d'énergie renouvelables pour nous aider à effectuer la difficile transition qui nous sortira de l'âge du pétrole. L'énergie de la biomasse constitue déjà 4% du bilan énergétique du Canada. Les centaines de milliers de maisons chauffées au bois ne représentent qu'une petite portion de ces 4%, la plus grande partie de l'apport énergétique de la biomasse provenant de la combustion des déchets ligneux par les industries papetières.

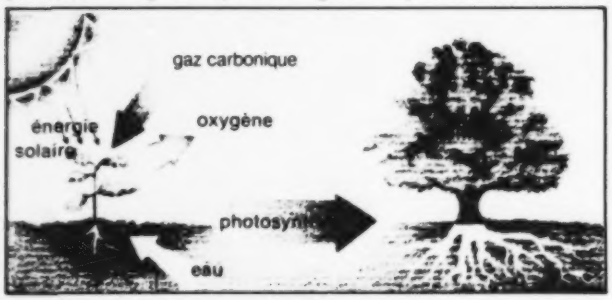
Où le Canada trouve-t-il ses sources d'énergie verte? Quelles sont nos richesses en biomasse? Quelles sont les recherches en cours dans ce domaine? Ce sont là les questions auxquelles nous allons tenter de répondre dans les pages qui vont suivre. Nous vous parlerons de brûleurs à paille, de plantations énergétiques, de bactéries et d'une quantité d'autres façons d'exploiter l'énergie de la biomasse. Vous ferez aussi un tour d'horizon des forêts, des exploitations agricoles, des plantations énergétiques, des tourbières, des dépotoirs et des laboratoires où l'on explore actuellement les possibilités de l'énergie de la biomasse.

La ressource

Les végétaux, capteurs d'énergie

C'est le printemps. La nuit, la neige durcit, mais le jour, elle fond et le sol dégèle au soleil. Sur les branches des érables, les bourgeons se gonflent, et la sève remonte dans les troncs.

Une remarquable transformation se produit dans les feuilles des érables et de toutes les plantes. Au cours d'un processus engendré par l'énergie du rayonnement solaire,

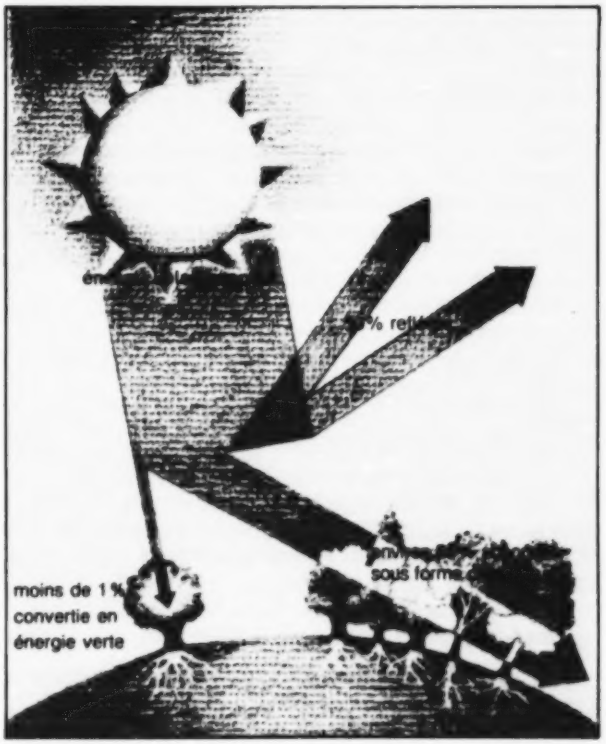


les molécules provenant de l'air et du sol se séparent pour former d'autres molécules plus riches en énergie. En poussant, les plantes utilisent directement l'énergie du Soleil pour réorganiser les différentes composantes chimiques et produire les matières qui nous servent d'aliments et de combustibles. C'est ainsi que le sirop d'érable fournit de l'énergie à notre corps, tandis que nous utilisons le bois de l'arbre pour nous chauffer. Il s'agit là de deux produits de la croissance d'une plante, et l'énergie qu'ils fournissent provient en premier lieu du Soleil.

Le rayonnement solaire engendre de nombreux flux d'énergie sur la Terre, entre autres les vents, les vagues et le cours des rivières. Mais seules les plantes sont capables de stocker naturellement cette énergie renouvelable. Les végétaux utilisent le rayonnement solaire pour leur croissance, et c'est cette accumulation de matière que nous nommons biomasse.

Celle-ci est constituée de molécules complexes composées principalement d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Le carbone et l'oxygène proviennent du gaz carbonique absorbé par les feuilles ; l'hydrogène, de l'eau pompée par les racines. Ces molécules complexes sont les fameux hydrates de carbone ou glucides qui, sous forme de sucre ou d'amidon, alimentent notre corps, et qui, sous forme de cellulose, servent à fabriquer le papier dont est faite cette brochure. Si vous y mettez le feu, vous verrez, à la chaleur que cela dégage, que la biomasse contient réellement de l'énergie.

La première étape du processus menant à la formation du sirop, du bois ou d'autres formes de biomasse à partir de l'énergie du Soleil s'appelle la photosynthèse. Au cours de ce processus l'énergie solaire est convertie en forces qui maintiennent ensemble les molécules de la biomasse ; et ces forces stockent l'énergie jusqu'à ce que les molécules soient décomposées. Mais la photosynthèse n'offre pas un très bon rendement. Ici,



au Canada, à peine 1 % de toute l'énergie solaire reçue en une année est convertie en énergie verte stockée dans les végétaux.

Pour avoir une idée concrète de la quantité d'énergie verte que nous recueillons ici, il suffit de voir à quel rythme peut grossir un arbre : environ un kilogramme par année. Cela signifie qu'une forêt qui a emmagasiné l'énergie solaire durant un siècle a accumulé l'équivalent énergétique d'une nappe de pétrole qui, répandue sur toute la superficie de la forêt, ne ferait pas plus que quelques centimètres d'épaisseur.

Il ne faudrait pas pour autant sous-estimer le potentiel énergétique de nos forêts. Il peut être énorme. La forêt canadienne, qui s'étend du Pacifique à l'Atlantique, forme un tapis végétal pratiquement ininterrompu qui couvre la moitié nord du continent et agit comme un vaste capteur solaire. On a calculé que l'énergie solaire captée par nos forêts dépassait d'au moins deux fois et demie notre consommation annuelle d'énergie.

La mince pellicule de matière vivante qui enveloppe le globe et qui est maintenue en vie grâce à l'apport continu d'énergie solaire s'appelle la biosphère. Dans la biosphère, l'énergie et la matière sont recyclées. En effet, l'énergie du Soleil n'est emmagasinée que de façon temporaire dans la biomasse : quand une plante meurt, l'énergie qu'elle contenait est libérée — les molécules complexes dont elle est faite se divisent au cours de la décomposition et leurs composants sont réutilisés par les générations qui suivent. Une partie de la biomasse est ensevelie dans le sol et comprimée sous la croûte terreste où, à un rythme imperceptible, elle est convertie en sa forme la plus durable, l'énergie fossile. La cadence à laquelle nous avons puisé dans ces réserves d'énergie est telle que, dans quelques dizaines d'années, nous aurons pratiquement épuisé ce que la Terre a mis des millions d'années à produire.

Nous ne pouvons espérer continuer de retirer l'énergie dont nous avons besoin de la biomasse fossilisée. Mais, nous pouvons par contre détourner une partie du flux incessant d'énergie solaire dans la biosphère en récoltant simplement les végétaux.

La végétation

Vue de très haut, cette partie de la biosphère qui a pour nom le Canada apparaît comme une vaste surface, où prédominent le vert et le bleu. En y regardant de plus près, on pourrait voir qu'à peine 7% de cette superficie sont défrichés et cultivés. La plupart de nos villes et de nos fermes sont situées dans les zones fertiles qui longent la frontière sud du pays.

Faciles à repérer, au cœur du Canada, se trouvent les Prairies. Autrefois couvertes de hautes herbes, elles servent aujourd'hui à la culture du blé, de l'avoine et de l'orge, ainsi qu'à celle d'autres céréales servant à l'alimentation.

Mais ce qui est le plus frappant pour l'œil, c'est le type de végétation qui domine dans notre pays : la forêt. Dans le Sud, mêlées aux conifères, poussent les espèces à feuilles caduques, érables, bouleaux et peupliers qui, à l'automne, embrasent le paysage de leurs teintes écla-

tantes. Le long de la côte ouest, sous un climat aux pluies abondantes, nous trouvons la forêt de conifères. Certains des arbres qui la composent comptent parmi les plus hauts du monde : sapin de Douglas, épinette de Sitka et thuyas géants. Vers le nord, s'étend la forêt boréale, formée d'épinettes noires, de sapins baumiers, de pins et de pruches de l'Est, et faisant partie de la grande ceinture de conifères qui décrit une courbe autour du pôle Nord, encerclant le globe terrestre.

Peu de forêts au monde ont une étendue comparable. Elle couvre plus du tiers des 10 millions de kilomètres carrés du territoire canadien.

Au nord de cette forêt commence la toundra, formée de mousses, de lichens et d'arbres rabougris, végétation adaptée au froid et aux brefs étés de ces terres désolées.

Mais la biomasse n'est pas seulement terrestre ; elle existe également en milieu aquatique, avec les algues, dans les océans, et avec d'autres types de plantes dans les rivières et les lacs.

Le Canada possède aussi en abondance une autre forme de biomasse : la tourbe. Il ne s'agit pas d'une ressource renouvelable, mais elle est souvent classée comme faisant partie de la biomasse à cause de son origine végétale. Les plantes qui poussaient sur les sols détrempés labourés par les glaciers durant la dernière période glaciaire ne se sont pas complètement décomposées une fois mortes. Recouvertes par l'eau, elles se sont lentement transformées en tourbe, matière spongieuse et humide. Celle-ci, si elle demeure sur place, finit par être enfouie dans le sol et par se transformer en charbon.

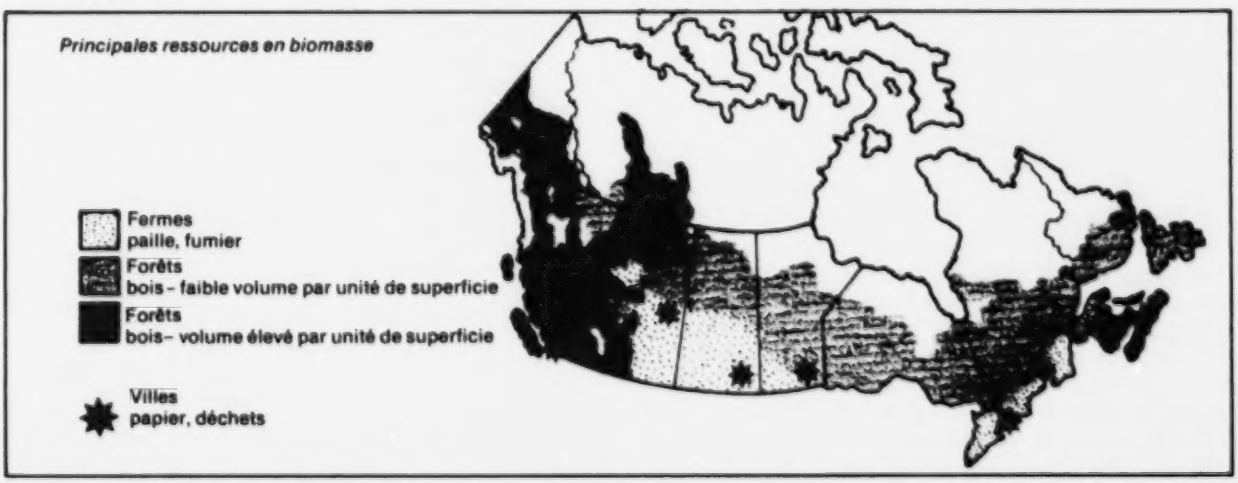
Plus d'un quart de la superficie du Canada est couvert par des tourbières, dont on pourrait extraire du combustible, comme cela se fait en Irlande, en URSS et dans d'autres pays. La première centrale électrique alimentée à la tourbe est entrée en service en Russie en 1914 ; et aujourd'hui, près de la moitié de l'électricité produite en Irlande provient de la combustion de la tourbe.

Au Canada, nous avons dédaigné jusqu'ici cette source énergétique. Nous ne savons pas au juste combien de tourbe nous avons, la seule chose à peu près certaine étant que nous en avons probablement plus que n'importe quel autre pays au monde.

Mais, même sans compter la tourbe, si nous additionnons les chiffres dont nous disposons sur nos richesses actuelles en biomasse, c'est le Canada qui, de tous les pays, possède la plus grande quantité par habitant de cette ressource renouvelable.

Les résidus

Les végétaux du Canada constituent une immense réserve d'énergie verte. Cependant, de nombreuses considérations d'ordre pratique limitent l'utilisation de cette ressource. Il est insensé, par exemple, de chauffer une maison avec du bois provenant d'une forêt située à des milliers de milles de là. De façon générale, la biomasse doit être collectée et transportée là où elle peut être utilisée de façon rentable. On peut ensuite en extraire de l'énergie, soit directement en la brûlant, la chaleur obtenue pouvant ensuite être transformée en électricité, ou encore en convertissant d'abord la biomasse en carburant plus concentré sous forme liquide ou gazeuse.



On doit aussi tenir compte du fait que le rendement énergétique de la biomasse est relativement faible. Une bûche d'un kilogramme qui vient d'être coupée donne seulement le quart de l'énergie fournie par un morceau de charbon du même poids. Au lieu d'utiliser la biomasse comme combustible, il sera souvent plus avantageux de s'en servir comme matériau de construction ou pour sa valeur nutritive.

Ce genre de considérations restreint le volume réel de nos réserves d'énergie verte. Au Canada, la biomasse la plus accessible, et par conséquent notre plus grande source d'énergie verte, est constituée par les résidus des usines de pâtes et papiers, des scieries et des fermes, ainsi que par les dépotoirs des villes. Dans tous ces endroits, il y a accumulation d'importantes quantités de biomasse : sciure, écorce, fumier, papier, etc., et c'est également là que les besoins en énergie sont les plus grands.

Les résidus forestiers

Les journaux publiés dans plus de 40 pays du monde sont imprimés sur du papier fabriqué à partir des arbres de nos forêts. Pour produire le papier journal, le bois d'œuvre, le contre-plaqué et quantité d'autres produits, les industries forestières consomment beaucoup d'énergie. Au cours des dernières années, les compagnies de pâtes et papiers ont absorbé à elles seules presque 30% de toute l'énergie industrielle consommée au Canada. L'industrie forestière, prise dans son ensemble, achète plus de pétrole, de gaz naturel et d'électricité que toute autre industrie au pays.

Les arbres ne sont plus abattus à la hache et à la scie de long, et les troncs ne sont plus tirés par des attelages de chevaux jusqu'aux rivières gelées, en attendant les crues du printemps. Aujourd'hui, nos forêts résonnent du bourdonnement des tronçonneuses et des puissantes machines qui coupent l'arbre au ras du sol, l'ébranchent, l'écimentent et traînent le tronc jusqu'au bord de la route, où il est débité par une coupeuse. Ces techniques de coupe mécanisées consomment de l'énergie ; mais les scieries en consomment encore davantage.

Dans les usines où l'on fabrique le papier journal, d'énormes machines dénudent, hachent et défibrent le bois, pour le réduire ensuite en pâte. Le produit final, additionné de produits chimiques, est alors chauffé dans une sorte de marmite sous pression et versé dans des machines à papier longues comme des terrains de football. Ces machines déroulent un ruban ininterrompu de papier, à des vitesses pouvant atteindre 60 km/h.

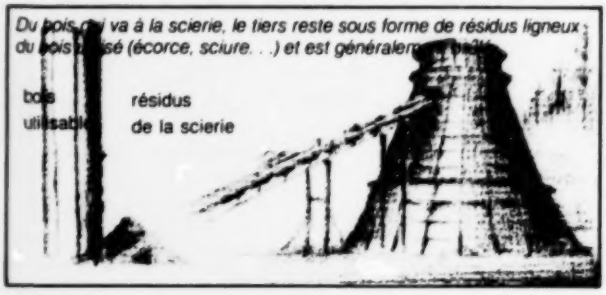
Lorsqu'on abat un arbre, la moitié va habituellement à la scierie et l'autre moitié reste sur place,comme résidus forestiers.

Une partie de l'énergie utilisée par l'industrie forestière provient aujourd'hui des résidus du bois — les copeaux de rabotage et la sciure qui s'accumulent dans les scieries, les déchets d'écorce et les résidus chimiques, dans les usines de pâtes et papiers. On a donné le nom de combustibles broyés à certains de ces déchets; car ils sont hachés par une machine appelée broyeur. Les déchets de bois ainsi convertis par l'industrie forestière représentent aujourd'hui environ 3% de la consommation totale d'énergie du Canada. Cette contribution méconnue à notre bilan énergétique est supérieure à celle de l'énergie nucléaire.

Cependant, au moins un tiers du bois qui arrive aux moulins demeure inutilisé. Il est brûlé, sans que l'énergie libérée soit récupérée, ou encore jeté comme remblai.

Une quantité encore plus importante de biomasse, constituée par les branches, la cime et le feuillage des arbres, est abandonnée dans la forêt. Environ la moitié du produit de la coupe est ainsi laissée sur place. Si tous ces résidus étaient transportés jusqu'à l'usine, ils pourraient fournir d'importantes quantités d'énergie.

Mais là encore, l'existence d'une ressource ne signifie pas automatiquement qu'on puisse l'utiliser. La collecte des résidus forestiers présente des difficultés d'ordre technique. D'ailleurs, les résidus ligneux en général



Du bois qui va à la scierie, le tiers reste sous forme de résidus ligneux ; du bois utilisé (écorce, sciure. . .) et est généralement brûlé.

posent des problèmes de financement et d'organisation, lorsqu'il s'agit d'adapter l'offre à la demande. Les scieries de la Colombie-Britannique, par exemple, produisent bien plus de résidus qu'elles ne peuvent en utiliser. Une partie seulement de ce surplus est acheminé par barges pour alimenter les chaudières à résidus des usines de pâtes et papiers situées le long de la côte.

Vous trouverez à la fin de cette brochure un aperçu des programmes de recherche et des programmes d'aide financière mis sur pied par le gouvernement du Canada pour encourager l'utilisation des résidus du bois à des fins énergétiques. Ces résidus constituent notre plus grande source d'énergie verte. Les chercheurs estiment qu'ils pourraient représenter 8% de notre bilan énergétique actuel (1983).

Les déchets agricoles

Dans une grande ferme près de Canning, en Nouvelle-Écosse, les ouvriers agricoles se livrent à une opération inhabituelle. Après chaque moisson, ils ramassent la paille dans les champs, la roulent en grosses bottes et la brûlent dans une grande chaudière. Les gaz chauds sortant de ce brûleur à paille sont utilisés pour sécher le grain et fournir de la chaleur aux 260 truies et à leurs porcelets qui se trouvent dans la porcherie.

Ce brûleur à paille est le premier de ce type à être utilisé dans les Maritimes, et, en fait, dans tout le Canada. Cette expérience a pu se faire grâce à l'aide financière du gouvernement du Canada.

Mais la paille n'est qu'un des déchets agricoles dont on peut tirer de l'énergie. Il y a aussi le fumier. Une partie de l'énergie solaire captée par les plantes et stockée sous forme de biomasse est transformée en fumier par les herbivores, comme les porcs, les vaches et les poules. Nous pouvons, à notre tour, transformer ce fumier en biogaz : celui-ci est un combustible composé de gaz carbonique et de méthane (le principal composant du gaz naturel). Lorsque des milliers d'animaux sont réunis dans un espace clos, parc d'engraissement ou porcherie, ils produisent une grande quantité de fumier dont il faut se débarrasser. Une solution ingénieuse consiste à le faire en extrayant l'énergie qu'il contient.

Environ 3% de l'énergie consommée au Canada va à l'agriculture, principalement sous forme de produits pétroliers, de carburant diesel, de propane et de gaz naturel. Il est intéressant de noter que le contenu énergétique total des résidus agricoles est supérieur à la consommation totale d'énergie de l'agriculture. Pourtant, à part quelques rares expériences, l'énergie contenue dans

Les détritus de la ferme, tels la paille, contiennent de l'énergie.

les déchets agricoles n'a pratiquement pas été exploitée jusqu'ici.

Pourquoi cela? D'abord, parce qu'il s'agit d'une idée nouvelle. Mais aussi parce que plusieurs incertitudes demeurent : est-ce que c'est rentable? Les résidus agricoles et le fumier n'ont qu'une faible densité énergétique, ce qui fait que, dans de nombreux cas, les coûts que représenteraient leur collecte et leur conversion en énergie ne justifieraient pas l'opération. Le fait d'enlever la paille, qui normalement pourrit sur place et fertilise le sol, ne risque-t-il pas d'appauvrir la terre? Dans les Prairies, la paille laissée dans les champs a aussi un autre effet bénéfique : elle atténue l'érosion des sols par le vent et en retenant la neige, l'hiver, elle augmente l'absorption d'humidité par le sol.

Malgré tout cela, il est incontestable que les déchets agricoles offrent un potentiel énergétique intéressant ; et les agriculteurs ont à la fois les techniques et l'équipement voulus pour effectuer les opérations de conversion que nécessite ce type d'énergie (voir pages 15, 16). Si une partie des incertitudes qui limitent l'utilisation des déchets agricoles pouvait être levée, ceux-ci pourraient fournir jusqu'à 3% de l'énergie que nous consommons.

Les déchets

Le fait que les déchets peuvent être une source d'énergie est démontré de façon plus qu'évidente par l'expérience que connurent des ouvriers travaillant à la construction d'un grand stationnement, à Montréal. Ils se rendirent compte que, chaque fois qu'ils craquaient une allumette, ils mettaient le feu à un gaz présent dans l'air, qui s'échappait du sol. Ils finirent par découvrir que, sous leurs pieds, se trouvait un ancien dépotoir où la biomasse était convertie en méthane.

Chacun d'entre nous jette chaque jour environ deux kilos d'ordures, dont la moitié au moins est composée de matières organiques, principalement du papier. Ces déchets peuvent être une source d'énergie pour les

villes, où ils s'accumulent en grandes quantités. À Victoria et à Charlottetown, on brûle les déchets pour chauffer les hôpitaux. À plus grande échelle, les déchets municipaux de la ville de Québec sont transportés à un incinérateur et brûlés pour alimenter des chaudières; la vapeur obtenue est ensuite acheminée par des conduites jusqu'à une usine de pâtes et papiers, située à proximité.

Toutefois, on se pose encore des questions sur la meilleure manière de tirer parti de cette forme de biomasse. Ainsi, une étude est parvenue à la conclusion qu'au lieu de brûler le papier, il serait plus rentable de le recycler.

La quantité totale d'énergie qui s'accumule chaque année dans les dépotoirs à travers le Canada n'est cependant pas très importante — moins de 0,1% de notre consommation annuelle.

Les plantations énergétiques

Pour dresser le bilan des ressources d'énergie verte dont dispose le Canada, nous avons tenu compte de l'énergie actuellement captée par la végétation de nos forêts et de nos fermes. Mais on pourrait accroître considérablement le volume de cette biomasse en pratiquant la culture énergétique, c'est-à-dire en mettant sur pied ce qu'on appelle des plantations énergétiques. Les plantes choisies pour ce type de culture sont bien sûr celles qui accumulent le plus de poids au cours de leur croissance.

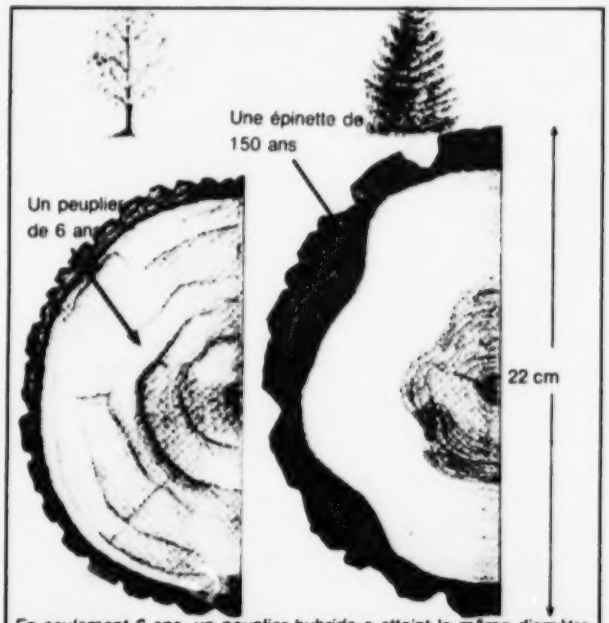
L'une de ces plantes, dont on a suggéré l'emploi au Canada, est le topinambour, également connu sous le nom d'hélianthe tubéreux. Il se présente comme une grande herbe et se cultive de la même manière que la pomme de terre. Mais, pour une superficie égale, une récolte de topinambours pèsera deux fois plus qu'une récolte de pommes de terre.

Comment utiliser cette réserve énergétique? On peut faire fermenter cette biomasse pour en retirer un alcool liquide pouvant servir de carburant à moteurs. Ce travail est toujours au stade expérimental.

Dans le Sud-Est de l'Ontario, des pépinières expérimentales ont été créées par le ministère des Ressources naturelles de la province. Des chercheurs y étudient une variété spéciale de peupliers à croissance rapide — des arbres qui, à partir de jeunes plants de 25 cm, deviennent en un an des arbres de 200 cm de haut. Une telle plantation produit deux fois plus de biomasse en un an qu'un champ de topinambours et bien plus qu'une forêt naturelle de même superficie. Le prix à payer pour obtenir ces rendements élevés est que ce genre de culture exige des soins intensifs. Un nouveau terme, l'agroforesterie, a été créé pour désigner les opérations de traitement, d'engraissage, de désherbage et d'irrigation qui permettent d'obtenir le taux de croissance élevé de ces pépinières à haute productivité.

Mais, pour le moment, ce n'est pas tellement la production énergétique que l'on envisage dans l'utilisation de la biomasse provenant des plantations de peupliers. Dans l'immédiat, on pense surtout à l'utiliser pour approvisionner en bois l'industrie papetière. La biomasse des peupliers peut aussi être convertie en aliment pour le bétail ou en produits chimiques.

Mais, avant de passer à l'exploitation à grande échelle du peuplier, il faudra en savoir plus sur l'écologie de ce type de monoculture. Comment ces plantations résisteront-elles aux insectes ou aux maladies? Ce type de culture intensive ne risque-t-il pas d'épuiser rapidement le sol? Ces questions laissent entendre qu'il y a un certain nombre de problèmes à résoudre avant d'envisager l'exploitation à grande échelle des plantations énergétiques. Il n'en demeure pas moins que, dans des conditions idéales, elles pourraient répondre à une partie importante de nos besoins énergétiques.



En seulement 6 ans, un peuplier hybride a atteint le même diamètre à la base du tronc qu'une épinette du Nord de 150 ans.

La technologie

Bioconversion et production énergétique

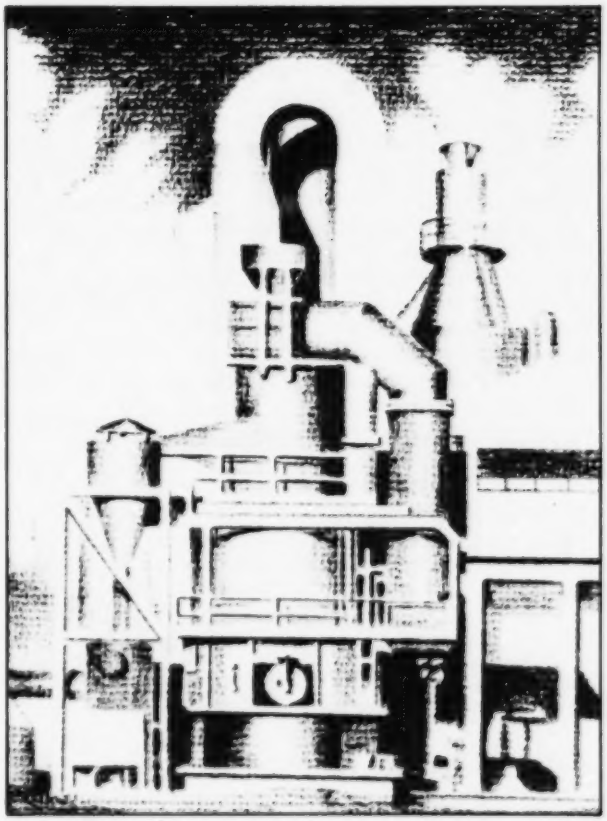
Nous avons vu plus haut comment les plantes utilisent l'énergie solaire pour combiner l'hydrogène, le carbone, l'oxygène et d'autres atomes, et former à partir de ces éléments des molécules complexes. Nous allons voir maintenant comment on peut défaire ces structures ordonnées et libérer ainsi l'énergie qu'elles renferment.

La façon la plus simple de procéder consiste à brûler la biomasse pour obtenir de la chaleur. La combustion est la réaction de l'oxygène avec les atomes d'un combustible. Dans un poêle à bois, par exemple, cette opération réduit rapidement une bûche en gaz carbonique, en eau et en cendres. L'énergie captée à l'origine à partir du rayonnement solaire est ainsi libérée sous forme de lumière et de chaleur.

De nombreuses techniques d'exploitation de la biomasse utilisent des convertisseurs, c'est-à-dire des dispositifs permettant de transformer la biomasse en d'autres formes d'énergie, d'emploi plus pratique ou plus rentable. C'est ainsi que les habitants de l'Égypte ancienne avaient découvert comment brûler le bois pour fabriquer du charbon de bois et du goudron. Ils se servaient du goudron pour embaumer leurs morts et les momifier. De son côté, le charbon de bois, renfermant plus d'énergie par kilogramme que le bois, constituait un moyen pratique de transporter l'énergie verte de la vallée fertile du Nil vers les mines des collines désertiques environnantes, où on le brûlait pour faire fondre l'or. De nos jours, pour des millions d'habitants du Tiers-Monde, le charbon de bois demeure la forme dominante d'énergie.

On peut également transformer la biomasse en un gaz similaire au gaz naturel ; et, en laboratoire, on peut même convertir la biomasse en carburants liquides qui ressemblent au pétrole brut. Toutes ces conversions dépendent essentiellement de la technique de combustion employée ; chaleur, vapeur, pression et addition de produits chimiques (appelés catalyseurs).

On peut aussi employer des techniques de fermentation. Tout comme la fabrication du charbon de bois, la fermentation de la biomasse à haute teneur en sucre pour la fabrication du vin ou de la bière est une technique très ancienne. Mais les alcools peuvent également servir de carburants liquides. On peut aussi produire du gaz servant au chauffage des maisons ou à la cuisson des aliments à partir de la décomposition du fumier et des déchets agricoles par les bactéries. On peut aussi utiliser des matières premières végétales pour obtenir des produits chimiques, tels que le plastique, qui sont actuellement fabriqués à partir de combustibles fossiles.



On dispose d'une gamme étendue de techniques pour convertir la biomasse en valeurs énergétiques. Certaines de ces techniques sont très anciennes, alors que d'autres n'en sont qu'à leurs premiers balbutiements en laboratoire. Certaines sont faites pour être utilisées par des particuliers ou de petites collectivités, tandis que le recours à certaines autres peut se comparer à l'exploitation d'une raffinerie de pétrole, tant par leur taille que par leur complexité.

À la fine pointe du développement de nouvelles techniques, on trouve la biotechnologie — la biologie appliquée. Les chercheurs qui travaillent dans ce secteur en rapide expansion étudient des façons d'influencer génétiquement la formation de la biomasse par les végétaux. Ils pensent arriver à mettre au point des plantes faites sur mesure pour maximiser la production énergétique.

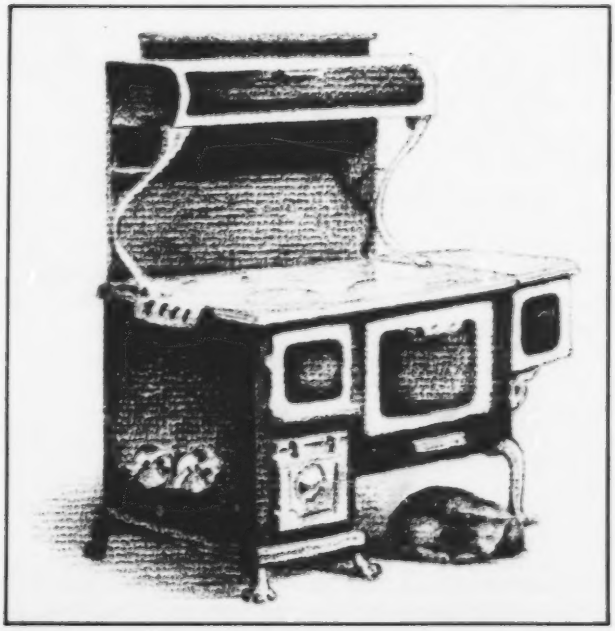
Il faut dire cependant que, quelles que soient les découvertes des scientifiques en matière de biotechnologie, il faudra attendre plusieurs années avant de pouvoir les

appliquer. L'histoire de l'énergie nucléaire illustre bien ce type de décalage. L'âge atomique a débuté en 1942 lorsque la première réaction de fission en chaîne a eu lieu dans un laboratoire de Chicago. Aujourd'hui, plus de 40 ans plus tard et après avoir dépensé des milliards de dollars, l'énergie nucléaire ne constitue encore qu'une toute petite partie (environ 2%) du bilan énergétique du Canada. En général, il faut au moins 20 ans pour qu'une invention mûrisse, passe du stade de l'idée à sa mise en pratique — pour réaliser des prototypes, les tester, les perfectionner et les fabriquer à échelle normale. Ce processus porte le nom de recherche-développement et démonstration. En fait toutes les technologies susceptibles de mettre l'énergie verte à notre portée au tournant du siècle ont probablement été inventées.

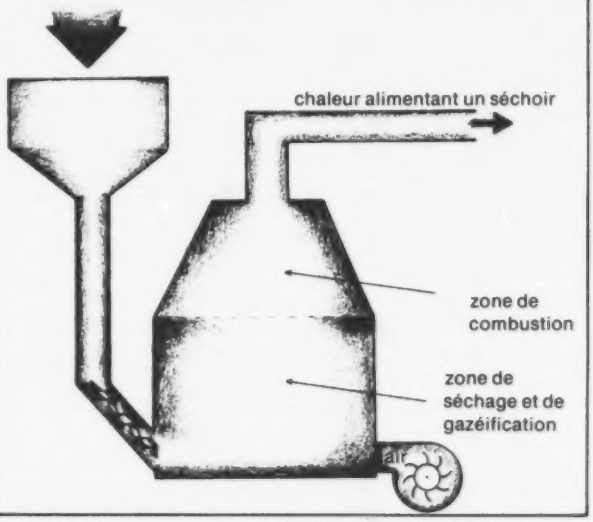
La combustion

Au moins 2% des Canadiens se chauffent au bois. Les poêles à bois, les chaudières et d'autres appareils de combustion sont très au point. Dans l'industrie forestière, les gaz d'échappement chauds provenant de la combustion des déchets ligneux servent à sécher le bois, dans les scieries. Dans l'industrie papetière ces déchets servent à alimenter des chaudières pour produire de la vapeur.

Une partie des problèmes que posent ces diverses utilisations sont dus à la nature de la biomasse utilisée,



Brûleur d'usine de pâtes et papiers. . .

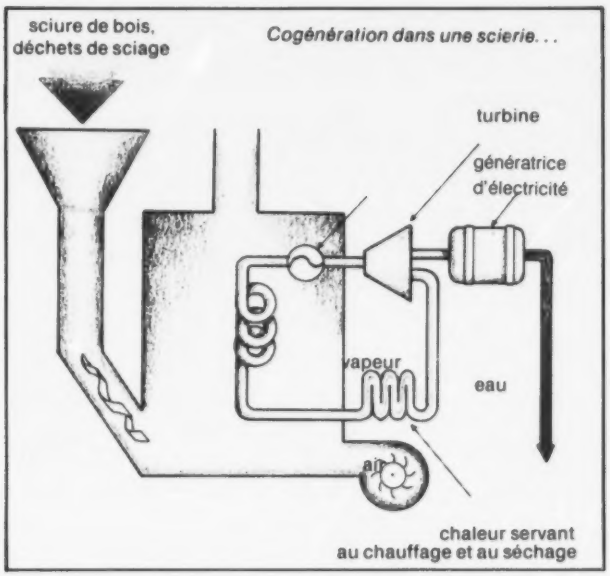


qui est souvent humide et volumineuse; c'est pourquoi on procède au déchiquetage du bois, qui facilite sa manutention. Une autre innovation dans la technologie de la combustion est le lit fluidisé. Dans le fond d'un appareil de combustion, on maintient à l'état fluide un lit de sable ou d'un autre matériau en y faisant passer un courant d'air continu. La combustion est rapide et complète, du fait que toutes les surfaces sont exposées à l'oxygène.

L'électricité

Il existe à Sydney, en Nouvelle-Écosse, une petite scierie fonctionnant entièrement grâce à l'énergie fournie par la sciure et les autres déchets ligneux. Ceux-ci sont brûlés dans une chaudière produisant de la vapeur qui, à son tour, actionne une génératrice d'électricité. Une fois que la vapeur a fait tourner les turbines de la génératrice, toute la chaleur résiduelle est utilisée pour chauffer le bâtiment et pour sécher les copeaux, qui sont ensuite comprimés en bûches de foyer pour être vendus. Il n'y a pas un morceau de bois qui entre dans cette scierie qui ne soit utilisé. Cette démonstration d'autosuffisance est subventionnée par le gouvernement du Canada.

Cette scierie de la Nouvelle-Écosse n'est en fait qu'un exemple à petite échelle de l'une des façons les plus efficaces d'extraire l'énergie de la biomasse — la cogénération, ou production simultanée d'électricité et de chaleur utilisable. La cogénération peut s'appliquer aux industries papetières, où les grandes quantités de vapeur



requises sont produites dans des chaudières à haute pression. Pour faire baisser la pression de la vapeur à un niveau qui permette son utilisation, on peut faire passer cette vapeur à travers les turbines d'une génératrice d'électricité. Le prix de revient de l'électricité ainsi produite est environ deux fois moins élevé que celui de l'énergie obtenue en construisant de nouvelles centrales hydrauliques, nucléaires ou au charbon.

La raison pour laquelle il n'y a pas plus d'usines de pâtes et papiers qui utilisent cette technologie est d'ordre économique, plutôt que technique : leurs propriétaires investissent là où cela rapporte le plus, et non là où l'énergie est le mieux utilisée. Or la cogénération permettrait de produire plus d'énergie que ne peut en utiliser l'industrie papetière.

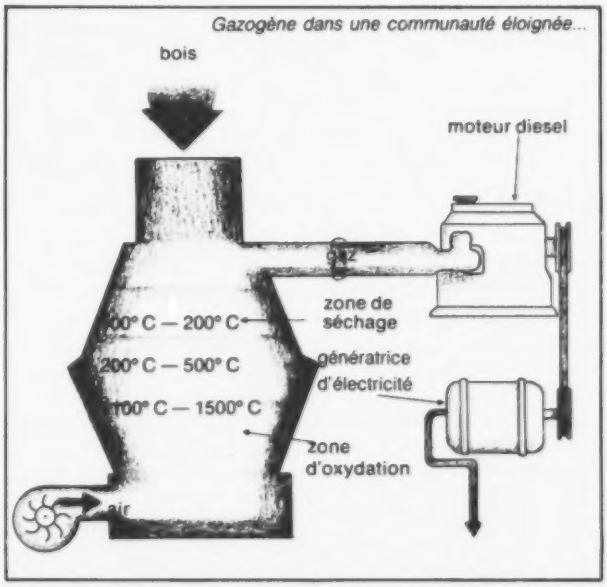
La gazéification

Le bois et les autres formes de biomasse peuvent être convertis en gaz. Sous cette forme, ils brûlent mieux et dégagent moins d'impuretés.

La gazéification n'est pas une technologie nouvelle. Durant la Seconde Guerre mondiale, lorsque les carburants liquides étaient rares en Europe, de nombreux camions furent convertis pour que leurs moteurs puissent fonctionner à partir d'un gazogène — ce dernier consistait en un cylindre de combustion, fonctionnant au bois et monté sur les véhicules, qui produisait un carburant gazeux.

De nos jours, la gazéification pourrait servir à fournir de l'énergie à des communautés isolées. Au nord de la ville d'Hudson Bay, en Saskatchewan, il y a des communautés isolées, éloignées de toute ligne de transmission électrique, mais entourées par la forêt. Grâce à une subvention du gouvernement du Canada, un gazogène est actuellement expérimenté à Hudson Bay. Il convertit le bois en un gaz qui alimente un moteur Diesel modifié, qui, à son tour actionne une génératrice d'électricité.

En fait, les gazogènes reproduisent le processus par lequel le gaz naturel s'est formé à partir de matières organiques enfouies sous la croûte terrestre. La biomasse est chauffée dans des chaudières pressurisées, sans qu'il y ait suffisamment d'oxygène pour mener la combustion à terme. Elle est alors transformée en gaz — principalement en hydrogène, en méthane et en monoxyde de carbone.



Lorsque la gazéification a lieu en présence d'air, le pouvoir calorifique du mélange gazeux que l'on obtient est de beaucoup inférieur à celui du gaz naturel. Pour augmenter ce pouvoir calorifique, on introduit de l'oxygène pur. Les gaz ainsi obtenus sont de meilleure qualité et leur combustion produit des températures élevées : on peut aussi en tirer un carburant liquide, le méthanol.

La plupart des gazogènes que l'on met au point actuellement produisent un gaz au pouvoir calorifique peu élevé,

mais que l'on peut brûler dans des chaudières modifiées, conçues au départ pour fonctionner au pétrole ou au gaz naturel.

Des études ont démontré que la conversion des déchets ligneux en gaz, employé ensuite comme combustible, pourrait permettre d'économiser plus de la moitié du combustible fossile utilisé présentement dans l'industrie forestière. Mais il faut poursuivre le travail pour mettre au point des gazogènes et des brûleurs fiables. Là aussi, on pense à utiliser les lits fluidisés pour obtenir une combustion rapide et facilement réglable.

L'une des utilisations les plus intéressantes du biogaz consiste à produire de l'électricité à l'aide de turbines à gaz. Il s'agit de dispositifs simples et compacts, fonctionnant selon le même principe que le moteur à réaction.

Les carburants liquides

On peut également convertir la biomasse en carburants liquides capables de faire ce que le pétrole fait si bien : faire fonctionner les moteurs des automobiles, des camions et des autres véhicules.

« Nous pouvons extraire du carburant des fruits », avait déclaré Henry Ford. « À partir d'une récolte annuelle de pommes de terre, on peut obtenir assez d'alcool pour faire fonctionner pendant 100 ans les machines nécessaires pour cultiver le champ qui les a produites. »

Pour le chimiste, les alcools sont des composés chimiques organiques formés de combinaisons particulières de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Le plus simple de ces composés s'appelle le méthanol ; c'est un liquide toxique, incolore et inflammable également connu sous le nom d'alcool de bois. Venant après le méthanol pour sa complexité, on trouve l'alcool éthylique ou éthanol ; un peu moins toxique, il constitue le principal ingrédient de boissons alcoolisées comme le whisky, le gin et la vodka. Les deux sont d'excellents carburants à moteur.

Le méthanol était utilisé au XVIII[e] siècle à Paris pour la cuisson des aliments, le chauffage et l'éclairage. De nos jours, il sert de carburant pour les voitures de course. Ce carburant est maintenant vendu dans quelques milliers de stations-service américaines.

L'éthanol, mélangé à l'essence, est connu sous le nom de gasohol; il est actuellement vendu dans plusieurs milliers de stations-service aux États-Unis et dans quelques stations-service au Manitoba, pour alimenter des moteurs d'automobiles ordinaires.

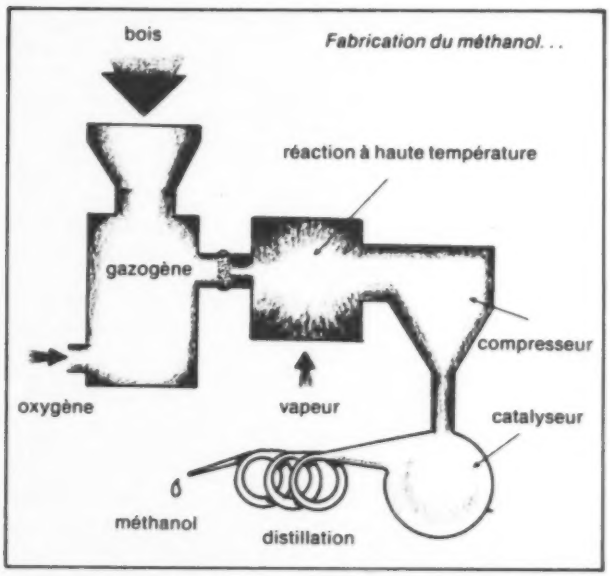
L'éthanol s'obtient par la fermentation de végétaux riches en sucre ; les levures digèrent le sucre et produisent de l'alcool. Le Brésil, où les plantes ont tout le soleil et toute l'eau qu'il leur faut pour pousser, mais qui possède par contre peu de pétrole, fait fonctionner des millions d'automobiles avec de l'éthanol produit à partir de la canne à sucre et d'autres plantes poussant dans le pays. Nous n'avons pas beaucoup de végétaux riches en sucre au Canada, mais il est relativement facile de convertir en glucide l'amidon d'autres plantes, que l'on fait ensuite fermenter. On peut aussi convertir en glucides, puis en éthanol la cellulose du bois, ainsi que les déchets agricoles ou urbains.

En consacrant un dixième de la superficie de sa ferme à la culture d'espèces alcooligènes, l'agriculteur canadien moyen pourrait s'autosuffire en carburant à moteur. Bien sûr les particuliers ne sont pas actuellement autorisés à produire de l'alcool sans permis.

L'énergie requise pour faire pousser et récolter le grain, le transporter et le convertir en alcool excède l'énergie contenue dans le produit final. Les techniques de production de l'éthanol comme carburant s'améliorent constamment mais la quantité d'énergie nette obtenue demeure peu importante dans les meilleures conditions. On estime de plus que le coût de revient du litre d'éthanol est généralement (en 1983) supérieur à celui de l'essence.

Il semble qu'ici, au Canada, le méthanol serait un meilleur carburant liquide renouvelable, ne serait-ce que parce qu'il coûterait moins cher que l'essence. On fabrique actuellement du méthanol commercialement à partir du gaz naturel. La technologie employée pourrait aussi bien servir à convertir en méthanol le gaz de synthèse obtenu à partir des résidus ligneux et d'autres formes de biomasse. Les gaz sont d'abord purifiés et soumis à des réactions à haute température en présence de catalyseurs ; on ajoute de la vapeur et d'autres catalyseurs et on rectifie ensuite la proportion carbone-hydrogène. Il s'agit là d'un procédé complexe basé sur une technologie raffinée empruntée à l'industrie pétrochimique.

En dehors de la mise au point de gazogènes, le méthanol pose d'autres problèmes techniques : les moteurs actuels ont été conçus pour fonctionner à l'essence et non au méthanol; d'autre part, ce carburant ne se mélange pas facilement au mazout; il empêche les moteurs de démarrer par temps froid et il est corrosif pour le moteur et dissout ou déforme certaines matières plastiques. Cependant, si l'on arrive à résoudre ces problèmes — et aucun d'entre eux ne semble insurmontable — le méthanol pourrait devenir un combustible important dans les domaines du transport et du chauffage au Canada.



On peut aussi envisager, dans un avenir plus éloigné, la conversion directe de la biomasse renouvelable en carburants liquides. Plusieurs laboratoires étudient actuellement différents procédés — associant tous de la chaleur, de la pression et des catalyseurs — qui permettraient de convertir directement la matière organique en carburant synthétique. Ces procédés de liquéfaction tentent en fait de reproduire ce que la nature a mis des millions d'années à accomplir. À l'Université de Toronto, des chercheurs, subventionnés par le gouvernement du Canada, placent le bois provenant de peupliers, qui poussent dans des plantations expérimentales, dans un réacteur et obtiennent une huile noire et visqueuse. Une autre expérience de liquéfaction est menée à l'Université de Sherbrooke, au Québec; là, ce sont des échantillons de tourbe qui sont convertis en huile.

D'autres procédés permettent d'obtenir des composés chimiques industriels à partir de la biomasse, par exemple l'éthylène qui sert à la fabrication des polyéthylènes. Mais, étant donné qu'il faudra au moins une génération pour que ces techniques de pointe se généralisent, le tableau énergétique ne s'en trouvera pas modifié avant le siècle prochain.

Le biogaz

Bien que le terme leur soit probablement inconnu, la plupart des paysans de l'Inde et de la Chine connaissent le biogaz. En effet, dans ces pays, les excréments des animaux et des humains sont placés dans des cuves où ils sont digérés par des bactéries, produisant un gaz utilisé pour la cuisson des aliments, l'éclairage, l'alimentation des moteurs et autres usages.

Les micro-organismes qui effectuent cette conversion portent le nom scientifique de bactéries anaérobies : ce qui signifie qu'elles se développent dans un milieu privé d'oxygène. On trouve ces micro-organismes dans la nature, dans le sol, les marais et au fond des lacs, des rivières et des océans, où ils décomposent des molécules organiques complexes en formes plus simples. Les feux follets, lueurs fugitives que l'on peut observer parfois à la surface des marais, ne sont pas dus à des fantômes, mais à la combustion spontanée du biogaz.

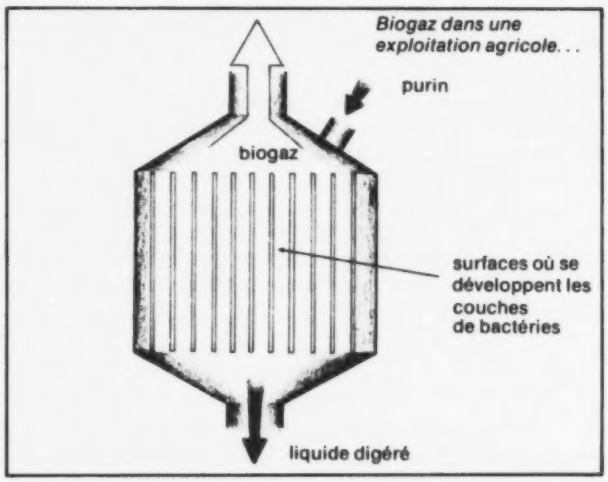
Mais dans la nature, le travail de digestion des bactéries anaérobies est trop lent pour que la production de biogaz soit d'un quelconque intérêt du point de vue énergétique. Par contre, dans l'industrie alimentaire et les usines de traitement des eaux où on se sert de ces bactéries pour décomposer les matières organiques brutes, le biogaz qui se dégage est généralement rejeté. Pourquoi ne pas l'utiliser comme source d'énergie lorsque c'est possible.

C'est précisément ce qu'on a commencé à faire dans un grand parc d'engraissement, près de Waterloo, en Ontario. Le purin produit par les 5 000 bestiaux qui s'y trouvent est recueilli dans une cuve scellée et isolée, où il est chauffé et digéré par des bactéries. Le biogaz ainsi produit est ensuite brûlé pour fournir la chaleur nécessaire au processus, et pour alimenter un moteur qui actionne une petite génératrice d'électricité.

Mais le biogaz n'est pas le seul sous-produit de ce digesteur. La boue qui reste dans la cuve contient des protéines qui sont récupérées et données au bétail. (Ces digesteurs anaérobies produisent souvent des engrais comme sous-produits.)

Plus le volume de biomasse dont on dispose est important, plus sa conversion en biogaz est rentable. Une étude, parrainée par le gouvernement du Canada, a démontré qu'une usine de produits alimentaires des Maritimes pourrait se procurer l'énergie qui lui est actuellement fournie par plus de 3 millions de litres de carburant liquide en convertissant ses déchets en biogaz. Quelle quantité d'énergie un fermier pourrait-il retirer du fumier de son cheptel? On estime qu'environ 800 porcs ou 100 bêtes à cornes pourraient répondre, sous forme de biogaz, aux besoins énergétiques annuels d'une ferme des Prairies.

Un digesteur ressemble plus à une ville qu'à une machine. Les micro-organismes qui assurent son fonc-

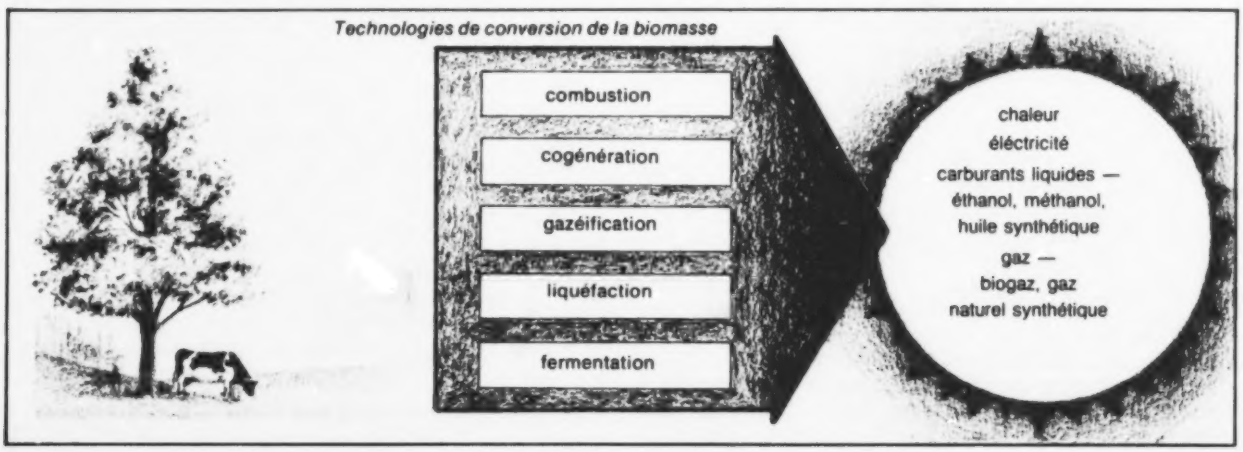


tionnement sont organisés en trois groupes qui travaillent en collaboration. Une partie d'entre eux décomposent les matières organiques en sucres et en acides plus simples. Un autre groupe, en aval, digère les produits du premier groupe, donnant des chaînes d'atomes encore plus simples et plus courtes, qui sont englouties par le dernier groupe, les micro-organismes producteurs de méthane.

Nous ne savons pas grand-chose de l'écologie de ces communautés bactériennes, mais nous savons qu'elles sont fragiles. Le froid ou l'exposition à l'air peut facilement les tuer; et leur développement pose souvent des problèmes. Ce qu'il faudrait à la plupart des agriculteurs et aux autres utilisateurs potentiels de biogaz, ce serait des digesteurs qui soient sûrs et demanderaient très peu de surveillance. Un nombre de projets de démonstration maintenant en place visent au développement de cette technologie.

Des progrès encourageants, tant dans la conception que dans la théorie des digesteurs anaérobies, ont été réalisés par les chercheurs des laboratoires du Conseil national de recherches du Canada. On s'y livre à des essais sur des digesteurs miniatures dont le taux de production de gaz est environ cinq fois supérieur à celui des digesteurs actuellement en usage. Les résultats obtenus avec ces prototypes sont dus en grande partie à une augmentation des dimensions des surfaces intérieures sur lesquelles les bactéries peuvent se fixer et se multiplier. Si on les fabriquait commercialement, ces digesteurs à rendement élevé pourraient être vendus à un prix suffisamment abordable pour être utilisés à petite échelle.

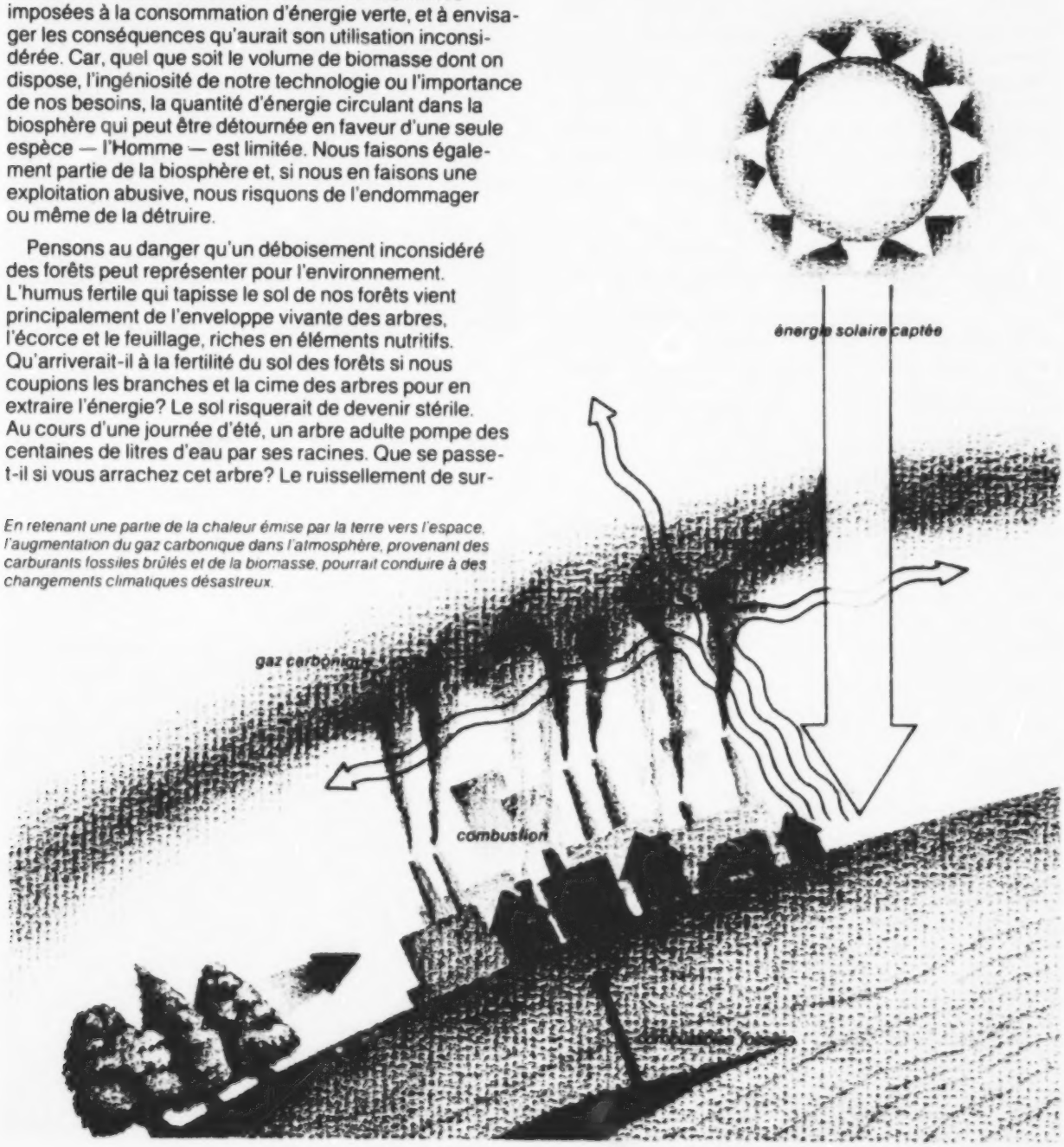
La recherche fondamentale sur l'écologie des bactéries a contribué à ces améliorations techniques. On a isolé certaines bactéries productrices de méthane pour les étudier — opération délicate car il est difficile de les garder en vie une fois qu'elles sont séparées de la communauté dont elles dépendent. On a également isolé un groupe de bactéries qui ne survivent que si elles se nourrissent de cellulose. La cellulose forme la cloison cellulaire des végétaux et elle constitue la partie la plus importante de la biomasse. (La cellulose est, par exemple, le principal composant du bois et donc des déchets urbains et des résidus forestiers.) Elle est aussi particulièrement difficile à digérer. Mais les bactéries qui viennent d'être découvertes peuvent la convertir en sucres et en acides solubles, à partir desquels on peut effectuer une foule d'autres conversions intéressantes.



L'environnement

Les chercheurs commencent à cerner les limites imposées à la consommation d'énergie verte, et à envisager les conséquences qu'aurait son utilisation inconsidérée. Car, quel que soit le volume de biomasse dont on dispose, l'ingéniosité de notre technologie ou l'importance de nos besoins, la quantité d'énergie circulant dans la biosphère qui peut être détournée en faveur d'une seule espèce — l'Homme — est limitée. Nous faisons également partie de la biosphère et, si nous en faisons une exploitation abusive, nous risquons de l'endommager ou même de la détruire.

Pensons au danger qu'un déboisement inconsidéré des forêts peut représenter pour l'environnement. L'humus fertile qui tapisse le sol de nos forêts vient principalement de l'enveloppe vivante des arbres, l'écorce et le feuillage, riches en éléments nutritifs. Qu'arriverait-il à la fertilité du sol des forêts si nous coupions les branches et la cime des arbres pour en extraire l'énergie? Le sol risquerait de devenir stérile. Au cours d'une journée d'été, un arbre adulte pompe des centaines de litres d'eau par ses racines. Que se passe-t-il si vous arrachez cet arbre? Le ruissellement de sur-



En retenant une partie de la chaleur émise par la terre vers l'espace, l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère, provenant des carburants fossiles brûlés et de la biomasse, pourrait conduire à des changements climatiques désastreux.

face augmente. Arrachez trop d'arbres, et le sol, qui n'est plus retenu et drainé par les racines, est emporté par les pluies ou le vent. Il y a, dans l'histoire, de nombreux exemples de désastres provoqués par un déboisement pratiqué de façon irresponsable : ainsi, au cours des années 30, le sol fertile de la partie centrale des États-Unis a été érodé par le vent et s'est envolé en tempêtes de poussière, se dispersant sur des milliers de milles.

Mais le risque d'épuisement des sols n'est pas le seul critère qui définisse les limites de l'utilisation de la biomasse. Au cours du siècle qui s'achève, la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère a considérablement augmenté. Pourquoi cela? Parce que nous avons fait une utilisation massive de combustibles fossiles, libérant le carbone qu'ils contiennent dans l'atmosphère. Si nous nous mettons soudain à brûler la biomasse à un rythme effréné, nous accélérons l'accumulation de gaz carbonique de deux façons : d'abord, en réduisant la quantité de végétaux qui absorbent le gaz carbonique présent dans l'air ; deuxièmement, en augmentant la quantité de gaz carbonique libérée par la combustion de la biomasse.

Pourquoi cela est-il si alarmant? Parce que le gaz carbonique présent dans l'atmosphère capte la chaleur dégagée par la Terre. Bien qu'on ne connaisse pas très bien les mécanismes en jeu, les savants prévoient que la température de notre atmosphère augmentera avec l'accumulation de gaz carbonique. Ce réchauffement général pourrait s'avérer à la fois bénéfique et nocif en ce sens que si l'on assistait à une augmentation de température dans l'hémisphère nord il faudrait aussi s'attendre, entre les 35e et 45e degrés de latitude nord, à une réduction des précipitations qui transformerait en désert une zone aujourd'hui considérée comme le grenier du monde.

Nous avons tendance à penser que l'utilisation de l'énergie verte est sans danger, et c'est vrai à petite échelle. L'heureux propriétaire d'une maison de campagne, chauffée au bois, sait très bien que, même si la fumée qui s'échappe de la cheminée contient des polluants, ces derniers sont absorbés sans dommage pour l'environnement. Mais il en irait tout autrement si nous nous mettions à faire un usage immodéré et à grande échelle de la biomasse : nous risquerions de détruire les relations de dépendance mutuelle qui nous lient à tous les autres êtres vivants.

La source d'énergie renouvelable que représentent nos forêts se tarira si nous les exploitons inconsidérément, en même temps que s'épuiseront les sols qui nous la dispensent indirectement.

Résumé

Le Canada a la chance de posséder d'importantes ressources énergétiques qui sont, en plus, très diversifiées : gaz naturel, charbon, uranium, sables bitumineux, hydro-électricité, etc. À cela, nous pouvons ajouter la biomasse. Actuellement environ 4% de l'énergie que nous consommons proviennent de nos forêts.

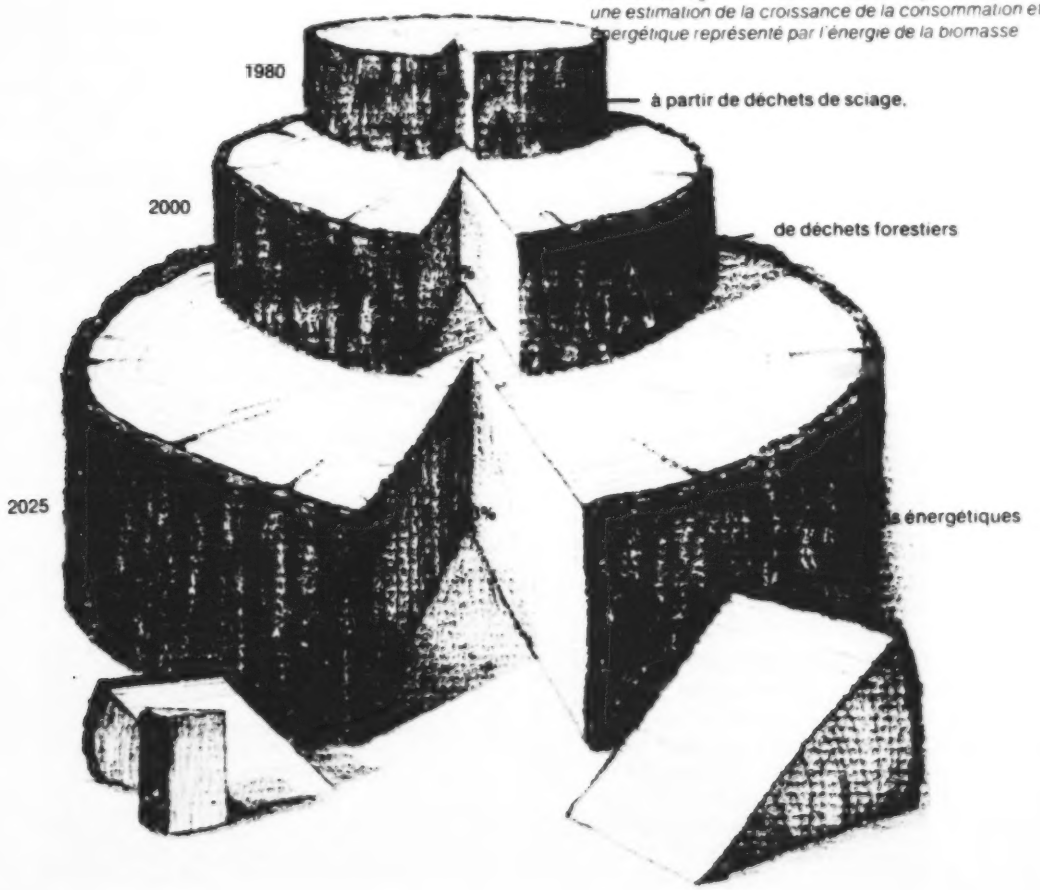
Pouvons-nous exploiter davantage nos ressources d'énergie verte? La réponse dépend, bien sûr, de nombreux facteurs tels que le coût et la disponibilité des énergies de remplacement.

Quant à savoir jusqu'à quel point nous pouvons exploiter l'énergie verte, cela dépend aussi des réponses que l'on trouvera aux questions que se posent les chercheurs.

Mais là où son utilisation est appropriée — fermes, usines papetières, scieries, communautés isolées, maisons rurales entourées de boisés — l'énergie verte pourra contribuer au régime énergétique. En remplaçant les combustibles fossiles par une source d'énergie renouvelable, nous serons en mesure de réduire notre dépendance vis-à-vis du pétrole, de plus en plus rare et de plus en plus cher.

La dernière transition énergétique importante que nous avons faite, en faveur du pétrole, a été facile. Notre société s'est rapidement adaptée à ce combustible d'une grande commodité, et notre appétit énergétique a été encouragé par son coût peu élevé et son apparente abondance. Désormais, nous allons devoir faire appel à une combinaison de sources énergétiques et mettre un frein à notre appétit. Ce n'est pas une transition facile. Mais l'énergie verte, en tant que solution partielle à un problème complexe, peut certainement nous aider à le résoudre.

Part de l'énergie verte dans le bilan énergétique du Canada basé sur une estimation de la croissance de la consommation et du potentiel énergétique représenté par l'énergie de la biomasse



Programmes gouvernementaux

Le gouvernement du Canada a demandé au cours de ces dernières années à un certain nombre de ses ministères de lancer un grand nombre de programmes visant à tirer parti des sources inépuisables d'énergie que sont le vent, la biomasse, et la croûte terrestre avec l'énergie géothermique. Le principal objectif de ces programmes est de réduire notre dépendance vis-à-vis des approvisionnements en pétrole domestique et importé, qui finiront par se tarir. On trouvera ci-dessous une brève énumération des principales initiatives lancées dans le domaine bioénergétique.

Parmi les nombreux projets financés par le Comité interministériel sur la recherche et le développement énergétiques et dont le Conseil national de recherches du Canada assure la coordination, mentionnons la conversion du bois en alcool et l'amélioration du rendement et de la sécurité des systèmes de chauffage au bois. Ces travaux sont exécutés en partie par des laboratoires gouvernementaux mais ce sont l'industrie, les universités et des organismes de recherche qui en effectuent la majeure partie sous contrat.

C'est en 1978 qu'a été lancé le programme ERIF (Énergie renouvelable dans l'industrie forestière) administré par Énergie, Mines et Ressources (EMR) dont l'objectif était initialement d'encourager l'industrie forestière à doubler la quantité d'énergie provenant des déchets de bois. Ce programme prévoit l'attribution de subventions pouvant atteindre 20% des capitaux nécessaires à l'achat de matériel alimenté au bois ou pour passer d'une alimentation au mazout ou au gaz des systèmes de chauffage à une alimentation à partir de la biomasse. Le gouvernement a ensuite augmenté les fonds prévus pour ce programme et l'a élargi pour le rendre accessible à tous les utilisateurs industriels ou commerciaux et les municipalités qui adoptent les combustibles de la biomasse. La quantité totale d'énergie d'origine fossile ainsi économisée grâce au programme ERIF est maintenant équivalente à 7 millions de barils de pétrole par an.

Des subventions pouvant atteindre 800 $ sont offertes au titre du Programme canadien de remplacement du pétrole (PCRP) à ceux qui convertissent un système de chauffage domestique à mazout en chauffage au bois.

Le programme ENFOR (Énergie de la forêt) a également été lancé en 1978. Ce programme est administré conjointement par Environnement Canada et Énergie, Mines et Ressources. Il subventionne la recherche et le développement axés sur les méthodes de production et de conversion de la biomasse en énergie. ENFOR soutient les progrès réalisés dans le domaine des carburants et combustibles liquides (production de l'éthanol) et dans celui des techniques d'emploi des énergies renouvelables (études sur le rendement de la combustion du bois, par exemple).

Énergie, Mines et Ressources et Environnement Canada administrent conjointement le Programme de création et de démonstration de techniques de conservation des ressources et de l'énergie (DRECT), qui encourage par des primes fiscales la récupération de l'énergie des déchets municipaux et industriels. C'est ainsi que ce programme a subventionné un brûleur de déchets municipaux installé dans un hôpital de Charlottetown.

Les Accords fédéraux-provinciaux de démonstration des économies d'énergie et des énergies renouvelables (ADEEER) ont pour objet de réduire les risques financiers afférents à la démonstration des nouvelles techniques relatives aux économies d'énergie et aux énergies renouvelables (brûleurs de tourbe, par exemple). Ils ont pour effet d'accélérer la commercialisation de ces techniques. La plupart des provinces ont accepté d'y participer et le total des contributions fédérales pour ces démonstrations atteint 113 millions de dollars dont environ 25% sont destinés aux projets bioénergétiques.

Une société d'État, Canertech Inc., dont le siège social est à Winnipeg, a été récemment créée avec l'attribution d'un fonds de 20 millions de dollars pour fournir des capitaux de risque à investir dans les industries de l'énergie renouvelable et des économies d'énergie.

Le Programme de recherche et de développement énergétiques dans l'agroalimentaire (RDEA) est administré par Agriculture Canada. Il a pour objet de favoriser la recherche et le développement ayant trait aux problèmes énergétiques dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie de l'alimentation.

Sources d'information

Organismes

THE BIOMASS ENERGY INSTITUTE INC.
C.P. 129, Succursale C
Winnipeg (Manitoba)
R3M 9Z9
Centre de renseignements sur l'énergie de la biomasse et organisme de coordination entre l'industrie, le gouvernement et les universités.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6
La bibliothèque de la Direction de l'énergie de l'Institut canadien de l'information scientifique et technique met les rapports de recherches sur l'énergie de la biomasse, ainsi que des bibliographies à la disposition du public, par l'intermédiaire de prêts entre bibliothèques.

La Direction de l'information publique du CNRC publie des brochures, dont celle-ci, et répond aux demandes de renseignements.

ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA
C.P. 3500
Succursale C
Ottawa (Ontario)
K1Y 4G1
La présente brochure sur l'énergie verte n'est qu'une des nombreuses publications que l'on peut se procurer auprès du Centre de distribution des publications de ce ministère.

ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA
Division des énergies renouvelables
Direction du charbon et des énergies de rechange
580, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4

INSTITUT DE RECHERCHE TECHNIQUE ET DE STATISTIQUE
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6
Bureau du Programme de recherche et développement en génie agricole.

SECRÉTARIAT DE ENFOR
Service canadien des forêts
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0E7
Le programme ENFOR subventionne la recherche de nouvelles techniques permettant d'obtenir des produits de remplacement des combustibles non renouvelables à partir de la biomasse forestière.

Pour en savoir plus

Livres

Askov, Niels, et Mark Papworth
The Pegasus Unit
Pegasus Publishers Inc.
Olympia, Washington, U.S.A. 98507
Une revue des technologies de la production de gaz à partir du bois, accompagnée de plans permettant de réaliser soi-même les installations nécessaires.

Delisle, André
La Biomasse, l'énergie naturelle aux mille facettes
Énergie et Ressources Québec, 1979.

Lapp, H.M., D. Shulte et M.A. Stevens
Le fumier c'est de l'énergie
Biomass Energy Institute Inc., 1978
Une brochure utile, distribuée gratuitement.

Le chauffage au bois, Énergie,
Mines et Ressources Canada, 1982
Une excellente brochure pour le consommateur qui désire chauffer au bois.

Merrill, Richard, et Thomas Gage
Energy Primer
Dell Publishing Co. 1978
Présenté sous le même format que le « Whole Earth Catalogue » contient une foule de renseignements utiles.

Périodiques

Bio-Joule
Bulletin du Biomass Energy Institute
(en anglais).

Canadian Renewable Energy News
C.P. 4869, Succursale E
Ottawa (Ontario)
K1S 5B4
Un mensuel en langue anglaise couvrant l'évolution de toutes les technologies dans le domaine de l'énergie renouvelable.

Chartier, Philippe, et Suzanne Meriaux
« L'énergie de la biomasse »
La recherche, juillet-août 1980
« La recherche » est un magazine français distribué au Québec.

« Le Canada et l'énergie des biomasses »
Le Progrès Scientifique, sept.-oct. 1978.

Parde, J.
« Biomasses forestières et utilisation totale des arbres »
Revue forestière, n° 5, 1977.

Québec Science
Magazine mensuel contenant de temps en temps des articles sur l'énergie de la biomasse.

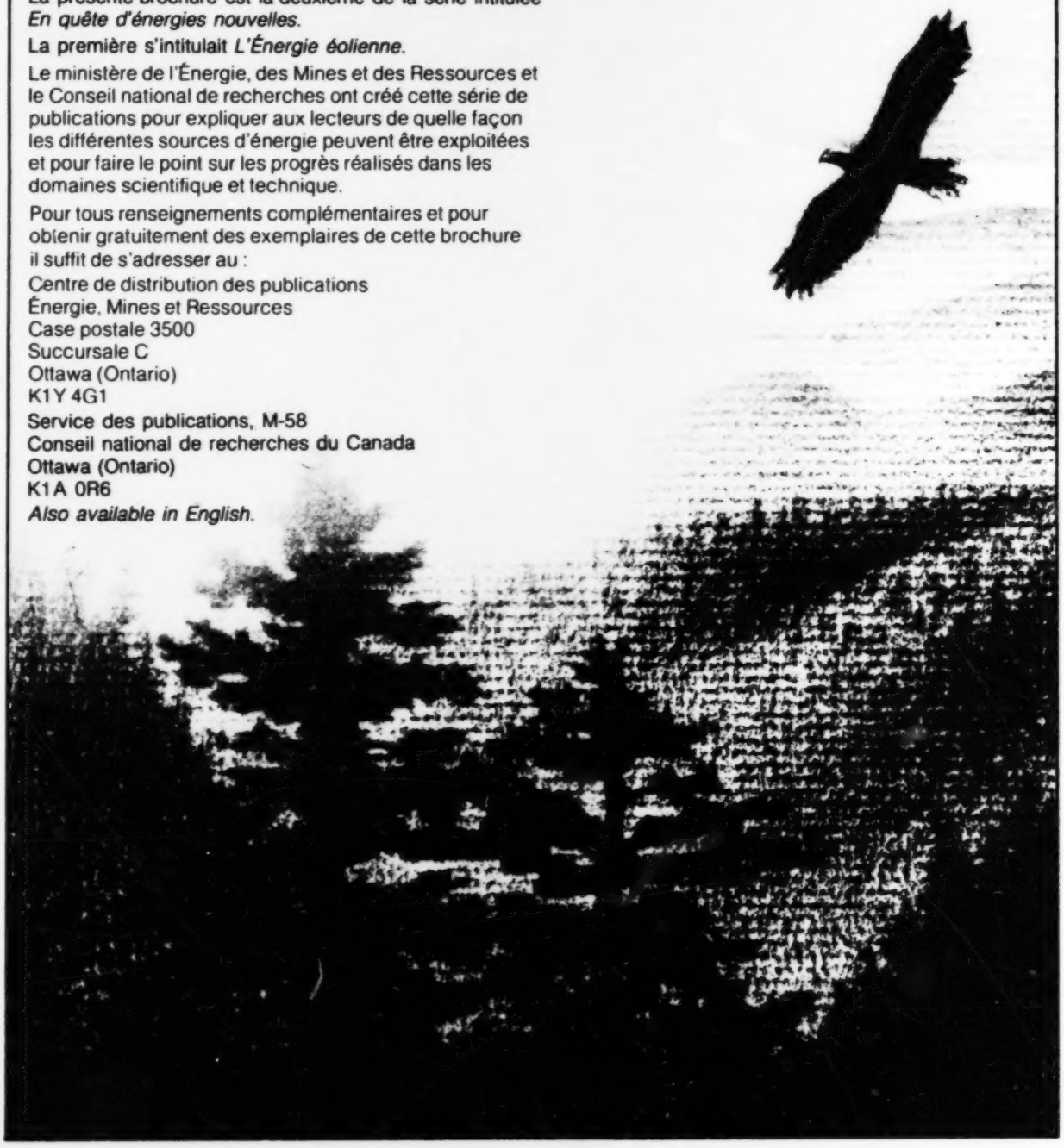
La présente brochure est la deuxième de la série intitulée *En quête d'énergies nouvelles.*

La première s'intitulait *L'Énergie éolienne.*

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et le Conseil national de recherches ont créé cette série de publications pour expliquer aux lecteurs de quelle façon les différentes sources d'énergie peuvent être exploitées et pour faire le point sur les progrès réalisés dans les domaines scientifique et technique.

Pour tous renseignements complémentaires et pour obtenir gratuitement des exemplaires de cette brochure il suffit de s'adresser au :

Centre de distribution des publications
Énergie, Mines et Ressources
Case postale 3500
Succursale C
Ottawa (Ontario)
K1Y 4G1

Service des publications, M-58
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Also available in English.